

# 1 Supuestos Renovación

1. La variable Foundation indica los cimientos de la casa, por lo que se fija como parámetro, ya que cambiarla implicaría destruir la casa completa.
2. La variable BsmtQual indica la altura del sótano y define su calidad según eso, no se procederá a cambiar esta calidad ya que implicaría cambiar la infraestructura de la casa.
3. No se considera expansión del sótano de la casa, ya que implicaría destrucción de cimientos de la casa y evaluaciones de suelo de los cuales no tenemos información. Por ende es por limitación de la base de datos.
4. No se agregaran chimeneas, ya que la variable Fireplaces contabiliza la cantidad total de chimeneas sin diferenciar cuales estan en la casa y cuáles en el sótano, por ende para restringir cuántas se puede agregar no se tendría un parámetro claro de máximo. Además, si se agregan no se sabría dónde por lo mismo. La decisión esta tomada por la limitación de información de la base de datos.
5. Las variables Overall Qual y Overall Cond no se cambiaran, ya que indican la calidad y condiciones generales de la casa, por lo que depende de todos los otros factores de calidad y condición de la casa.
6. La variable Functional que indica la evaluación cualitativa del estado funcional general de la vivienda no será modificada, esto debido a que no podemos hacer mejoras específicas si no tenemos conocimiento de qué es deficiente en particular. La decisión esta tomada por la limitación de información de la base de datos.
7. La variable LowQualFinSF que indica pies cuadrados de mala calidad en todos los pisos no se cambiará. No podemos hacer mejoras específicas si no tenemos conocimiento de qué es deficiente en particular. La decisión esta tomada por la limitación de información de la base de datos.
8. Para la renovación de espacios se considera que no se modificaran las habitaciones del interior de la casa, esto debido a que no existen especificaciones de los  $f^2$  que hay de cada habitación, por ende esto limita su posible expansión y/o reducción. La decisión esta tomada por la limitación de información de la base de datos.
9. Para la renovación de espacios se considera el caso de ampliaciones en el primer piso, ya que existen variables descriptivas de los  $f^2$  disponibles del terreno total de la vivienda. Dichas expansiones se realizan según el mínimos de superficie habitable requeridos para cada tipo de habitación. En este caso se considera, BedRooms, Kitchen, HalfBath y FullBath. No se incorporan habitaciones de tamaño variable, ya que definir proporciones máximas de superficie por tipo de recinto no resulta adecuado sin conocer la distribución interna de cada vivienda. Por esta razón, se considera poco coherente establecer un límite superior fijo aplicable a todas las propiedades. La decisión esta tomada por la limitación de información de la base de datos.
10. La ampliación de espacios se consideran en una escala de ampliación pequeña, moderada y grande. Las variables GarageArea, WoodDeckSF, OpenPorchSF, EnclosedPorch, 3SsnPorch, ScreenPorch y PoolArea se consideran

para estas ampliaciones. Esto debido a que se tiene conocimiento de los  $f^2$  disponibles del terreno total de la vivienda y dichas variables de área están involucradas en este espacio. Las ampliaciones pequeñas involucran el aumento de un 10% de su área, las ampliaciones moderadas de un 20% y por último las grandes de un 30%. Se define como mínimo un 10% ya que es el primer salto que evita microajustes geométricos poco ejecutables en obra.

## 2 Supuestos Construcción

1. Cuando la vivienda se construye desde cero la calidad de sus materiales y la condición que tendrán serán excelente. (falta poner el porque de excelente y no good que lo dijo el tito **PONER EXACTAMENTE CUALES NOS DARÁN AL FINAL SOBRE EL TERRENO**)

por ejemplo MSZoning, LotArea, LotFrontage, Street, Alley, LotShape, Land-Countour, 2.

# Modelo matemático

Grupo 5 Capstone

October 2025

## 3 Función Objetivo: Revisar

$$Max(\Delta P - C_{total})$$

- $\Delta P = ValorFinal - ValorInicial$   
- Valor creado gracias a las remodelaciones/ampliaciones.
- $C_{total} = \text{Costos de construcción} + \text{Costos destrucción}$

$$CT = \sum_r \sum_k \theta_{rk} \cdot \delta_{rk} \cdot \zeta_{rk} \cdot \lambda_{rk} + \sum_i \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \eta_i \cdot \kappa_i + \sum_s \gamma_s \cdot \varepsilon_s + C_{destrucción}$$

- $\theta_{rk}$ : Parámetro que es costo de construir un pie cuadrado de r de la calidad k.
- $\delta_{rk}$ : variable binaria que toma valor 1 en caso de construir r en calidad k.
- $\zeta_{rk}$ : variable de cantidad de r a construir de calidad k.
- $\lambda_{rk}$ : variable de pies cuadrados que tendrá pieza r de k.
- $\alpha_i$ : parámetro costo unitario de pie cuadrado de i
- $\beta_i$ : binaria
- $\eta_i$ : cantidad de i a construir
- $\kappa_i$ : metros de i a construir
- $\gamma_s$ : parámetro de costo de instalación de s
- $\varepsilon_s$ : binaria de instalación

## 4 Parámetros - Variables

## 5 Restricciones ideas

1. Segundo piso no puede ser más grande que el primero. (supuesto)

$$1stFlrSF \geq 2ndFlrSF$$

2. GrLivArea (área habitable) no puede ser mayor que LotArea que es el área total del terreno.

$$GrLivArea \leq LotArea$$

3. El sótano no puede tener más área que el área del primer piso. (supuesto)

$$1stFlrSF \geq TotalBsmtSF$$

4. No pueden haber más baños que dormitorios. (sin considerar el bsmt)

$$FullBath + Halfbath \leq Bedroom$$

5. Tiene que haber al menos un FullBath, Bedroom y Kitchen para cumplir con las necesidades básicas.

$$FullBath \geq 1$$

$$Bedroom \geq 1$$

$$Kitchen \geq 1$$

(falta poner el techo)

7. Consistencia entre los pies cuadrados (sale directo desde la base de datos)

$$Gr Liv Area = 1st Flr SF + 2nd Flr SF + LowQualFinSf$$

8. Consistencia de habitaciones.

$$TotRmsAbvGrd = Bedroom + Kitchen + OtrasHabitaciones$$

$$OtrasHabitaciones = TotRmsAbvGrd - (Bedroom + Kitchen)$$

9. Escoger a lo más una calidad

$$\sum_k \delta_{rk} \leq 1$$

10. Techo para cantidad de pies cuadrados a construir

## 6 Restricciones renovación

- Utilities: Se puede cambiar a alternativas que sean de costo mayor o mantenerse.
  - Parámetro de Utilitie original:

$$u_i^{\text{base}} \in u \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Parámetro de Costo de la Utilitie original:

$$C_{u_i^{\text{base}}} \in u \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

-Definición de conjunto permitido de utilities

$$\mathcal{U}_i^+ = \{u \in \{AllPub, NoSewr, NoSeWa, ELO\} : C_u \geq C_{u_i^{\text{base}}}\}.$$

-Variables de decisión

$$Utilities_{i,u} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall u \in \mathcal{U}_i^+.$$

-Restricción

$$\sum_{u \in \mathcal{U}_i^+} Utilities_{i,u} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

-Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoUtilities} = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{u \in \mathcal{U}_i^+ \\ u \neq u_i^{\text{base}}}} C_u Utilities_{i,u}.$$

- RoofStyle y RoofMatl: Se selecciona un tipo de *roof style* y un tipo de *roof material* compatibles entre sí. El material y el estilo pueden mantenerse o cambiarse a una alternativa de costo mayor, respetando las compatibilidades constructivas.

- Matriz de compatibilidad entre estilos y materiales:

La compatibilidad se representa mediante el parámetro binario  $A_{s,m}$ , donde  $A_{s,m} = 1$  si el material  $m$  puede ser utilizado con el estilo  $s$ , y  $A_{s,m} = 0$  en caso contrario.

		AsphaltShingle	Metal	ClayTile	WoodShingle	Slate	Membrane
$A_{s,m} =$	Gable	1	1	1	1	1	0
	Hip	1	1	1	1	1	0
	Flat	0	1	0	0	0	1
	Mansard	1	1	1	1	1	0
	Shed	1	1	0	1	0	1

Esta matriz fue construida en base a compatibilidades constructivas reportadas en fuentes técnicas de cubiertas (Inc., 2023; Roof-Crafters, 2024; Wikipedia contributors, 2024).

- Parámetro de Roof Style original:

$$s_i^{\text{base}} \in s \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Parámetro de Roof Material original:

$$m_i^{\text{base}} \in m \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Parámetro de costo de Roof Style y Roof Material:

$$C_s, C_m \quad \forall s \in \mathcal{S}, \forall m \in \mathcal{M}.$$

- Definición de conjuntos permitidos:

$$\mathcal{S}_i^+ = \{ s \in \{Flat, Gable, Gambrel, Hip, Mansard, Shed\} : C_s \geq C_{s_i^{\text{base}}} \}$$

$$\mathcal{M}_i^+ = \{ m \in \{ClyTile, CompShg, Membran, Metal, Roll, TarGrv, WdShake, WdShngl\} : C_m \geq C_{m_i^{\text{base}}} \}$$

- Variables de decisión:

$$x_{i,s} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall s \in \mathcal{S}_i^+,$$

$$y_{i,m} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall m \in \mathcal{M}_i^+.$$

- Restricción de selección única:

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_i^+} x_{i,s} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \sum_{m \in \mathcal{M}_i^+} y_{i,m} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Restricción de compatibilidad entre estilo y material según la matriz  $A_{s,m}$ :

$$x_{i,s} + y_{i,m} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall s \in \mathcal{S}_i^+, \forall m \in \mathcal{M}_i^+ : A_{s,m} = 0.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoRoof}^A = \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{s \in \mathcal{S}_i^+ \\ s \neq s_i^{\text{base}}}} C_s x_{i,s}}_{\text{Roof Style}} + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{m \in \mathcal{M}_i^+ \\ m \neq m_i^{\text{base}}}} C_m y_{i,m}}_{\text{Roof Material}}.$$

- Exterior1st, Exterior2nd, ExterQual, ExterCond: Si la calidad o condición del material exterior presenta un índice de Average/Typical o inferior, entonces el material del Exterior1st y el Exterior2nd puede reemplazarse por otro de costo superior al actual. Exterior2nd solo aplica si existe un segundo material en la casa.

- Conjunto de materiales de exterior (comunes a Exterior1st y Exterior2nd):

$$\mathcal{E} = \{AsbShng, AsphShn, BrkComm, BrkFace, CBlock, CemntBd, HdBoard, ImStucc, MetalSd, Other, Ply$$

- Parámetro de costo por material:

$$C_{e_1} \quad \forall e \in \mathcal{E}.$$

$$C_{e_2} \quad \forall e \in \mathcal{E}.$$

- Parámetros material base de Exterior1st y Exterior2nd (si existe):

$$(e_1)_i^{base} \in \mathcal{E} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad (e_2)_i^{base} \in \mathcal{E} \quad \text{si} \quad Has2_i = 1.$$

- Indicador de existencia de segundo material:

$$Has2_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Parámetros de calidad y condición del conjunto exterior:

$$ExterQual_{i,eq} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, eq \in \mathcal{Q}, \quad ExterCond_{i,ec} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, ec \in \mathcal{C}.$$

donde  $\mathcal{Q} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po}\}$  y donde  $\mathcal{C} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po}\}$ .

- Subconjuntos de categorías “promedio o menor”:

$$\mathcal{Q}^{\leq Av} = \{\text{TA, Fa, Po}\}, \quad \mathcal{C}^{\leq Av} = \{\text{TA, Fa, Po}\}.$$

- Variable de activación:

$$Upg_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

donde  $Upg_i = 1$  si  $ExterQual_i \leq \text{Average}$  o  $ExterCond_i \leq \text{Average}$ ; en caso contrario  $Upg_i = 0$ .

- Restricciones de activación:

$$Upg_i \geq ExterQual_{i,eq} \quad \forall i \in \mathcal{I}, eq \in \mathcal{Q}^{\leq Av},$$

$$Upg_i \geq ExterCond_{i,ec} \quad \forall i \in \mathcal{I}, ec \in \mathcal{C}^{\leq Av},$$

$$Upg_i \leq \sum_{eq \in \mathcal{Q}^{\leq Av}} ExterQual_{i,eq} + \sum_{ec \in \mathcal{C}^{\leq Av}} ExterCond_{i,ec} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

Estas restricciones garantizan que:

- Si la calidad o condición es “Average/Typical” o peor,  $Upg_i = 1$ .
- Si ambas son mejores que “Average”,  $Upg_i = 0$ .

- Conjunto permitido para Exterior1st (dependiente de  $Upg_i$ ):

$$\mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(1)} = \begin{cases} \{e_1^{base}(i)\} & \text{si } Upg_i = 0, \\ \{e \in \mathcal{E} : C_e \geq C_{e_1^{base}(i)}\} & \text{si } Upg_i = 1. \end{cases}$$

- Conjunto permitido para Exterior2nd (si existe y según  $Upg_i$ ):

$$\mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(2)} = \begin{cases} \emptyset & \text{si } Has2_i = 0, \\ \{e_2^{base}(i)\} & \text{si } Has2_i = 1 \text{ y } Upg_i = 0, \\ \{e \in \mathcal{E} : C_e \geq C_{e_2^{base}(i)}\} & \text{si } Has2_i = 1 \text{ y } Upg_i = 1. \end{cases}$$

- Variables binarias prefiltradas por conjuntos permitidos:

$$Exterior1st_{i,e_1} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall e_1 \in \mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(1)},$$

$$Exterior2nd_{i,e_2} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \mathcal{I} \text{ con } Has2_i = 1, \forall e_2 \in \mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(2)}.$$

- Selección única en Exterior1st:

$$\sum_{e_1 \in \mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(1)}} Exterior1st_{i,e_1} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Selección única en Exterior2nd (solo si existe):

$$\sum_{e_2 \in \mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(2)}} Exterior2nd_{i,e_2} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I} \text{ con } Has2_i = 1.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoExterior}^A = \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{e_1 \in \mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(1)} \\ e_1 \neq (e_1)_i^{base}}} C_{e_1} Exterior1st_{i,e_1}}_{\text{Exterior1st}} + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{e_2 \in \mathcal{E}_{i,\text{allow}}^{(2)} \\ e_2 \neq (e_2)_i^{base}}} C_{e_2} Exterior2nd_{i,e_2}}_{\text{Exterior2nd}}.$$

- MasVnrType: Se puede cambiar a alternativas que sean de costo mayor o mantenerse.

- Parámetro de tipo original:

$$t_i^{\text{base}} \in t \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Parámetro de costo por tipo:

$$C_t \quad \forall t$$

- Definición de conjunto permitido (quedarse o subir):

$$\mathcal{T}_i^+ = \{t \in \{BrkCmn, BrkFace, CBlock, None, Stone\} : C_t \geq C_{t_i^{\text{base}}}\}.$$



- Variables de decisión:

$$MasVnrType_{i,t} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall t \in \mathcal{T}_i^+.$$

- Restricción:

$$\sum_{t \in \mathcal{T}_i^+} MasVnrType_{i,t} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$CostoMasVnr^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{t \in \mathcal{T}_i^+ \\ t \neq t_i^{base}}} C_t MasVnrType_{i,t}.$$

- Electrical: Se puede cambiar a alternativas que sean de costo mayor o mantenerse.

- Parámetro de tipo eléctrico original:

$$e_i^{base} \in e \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Parámetro de costo por tipo eléctrico:

$$C_e \quad \forall e \in \mathcal{E}.$$

- Definición de conjunto permitido:

$$\mathcal{E}_i^+ = \{e \in \{SBrkr, FuseA, FuseF, FuseP, Mix\} : C_e \geq C_{e_i^{base}}\}.$$

- Variables de decisión:

$$Electrical_{i,e} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall e \in \mathcal{E}_i^+.$$

- Restricción:

$$\sum_{e \in \mathcal{E}_i^+} Electrical_{i,e} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$CostoElectrical^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{e \in \mathcal{E}_i^+ \\ e \neq e_i^{base}}} C_e Electrical_{i,e}.$$

- CentralAir: Si la casa no tiene aire central, se permite mantener No o cambiar a Yes, incurriendo en el costo de implementación. Si la casa ya tiene aire central, se mantiene en Yes.

- Parámetro de estado original de Central Air:

$$a_i^{\text{base}} \in a \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Costo de implementación de Central Air:

$$C_{\text{CentralAir}}$$

- Conjunto permitido por ítem:

$$\mathcal{A}_{i,\text{allow}} = \begin{cases} \{\text{Yes}\} & \text{si } a_i^{\text{base}} = \text{Yes}, \\ \{\text{No}, \text{Yes}\} & \text{si } a_i^{\text{base}} = \text{No}. \end{cases}$$

- Variables binarias:

$$\text{CentralAir}_{i,a} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall a \in \mathcal{A}_{i,\text{allow}}.$$

- Selección única:

$$\sum_{a \in \mathcal{A}_{i,\text{allow}}} \text{CentralAir}_{i,a} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\sum_{i \in \mathcal{I}: a_i^{\text{base}} = \text{No}} C_{\text{CentralAir}} \cdot \text{CentralAir}_{i,\text{Yes}}.$$

- Heating y Heating QC: Si HeatingQC es *Average/Typical* o peor, entonces el tipo de *Heating* puede mantenerse o cambiarse a uno de mayor costo que el actual. Si la calidad es mejor que *Average*, se mantiene el tipo base.
- Conjunto de tipos de Heating:

$$\mathcal{H} = \{\text{Floor}, \text{GasA}, \text{GasW}, \text{Grav}, \text{OthW}, \text{Wall}\}.$$

- Parámetro de costo por tipo de Heating:

$$C_h \quad \forall h$$

- Parámetro de tipo de Heating:

$$h_i^{\text{base}} \in h \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variables binarias de calidad:

$$\text{HeatingQC}_{i,q} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q},$$

donde  $\mathcal{Q} = \{\text{Ex}, \text{Gd}, \text{TA}, \text{Fa}, \text{Po}\}.$

- Subconjunto de categorías “Average/Typical o peor”:

$$\mathcal{Q}^{\leq Av} = \{TA, Fa, Po\}.$$

- Variable de activación de mejora:

$$UpgHeat_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Restricciones de activación:

$$UpgHeat_i \geq HeatingQC_{i,q} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall q \in \mathcal{Q}^{\leq Av},$$

$$UpgHeat_i \leq \sum_{q \in \mathcal{Q}^{\leq Av}} HeatingQC_{i,q} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conjunto permitido para Heating:

$$\mathcal{H}_{i,allow} = \begin{cases} \{h_i^{base}\} & \text{si } UpgHeat_i = 0, \\ \{h \in \mathcal{H} : C_h \geq C_{h_i^{base}}\} & \text{si } UpgHeat_i = 1. \end{cases}$$

- Variables binarias (prefiltradas):

$$Heating_{i,h} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall h \in \mathcal{H}_{i,allow}.$$

- Selección única de tipo de Heating:

$$\sum_{h \in \mathcal{H}_{i,allow}} Heating_{i,h} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$CostoHeating^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{h \in \mathcal{H}_{i,allow} \\ h \neq h_i^{base}}} C_h Heating_{i,h}.$$

- KitchenQual: La calidad de la cocina puede aumentar si es Typical/Average o peor.

- Conjunto de calidades posibles:

$$\mathcal{K} = \{Ex, Gd, TA, Fa, Po\}.$$

- Parámetro de costo:

$$C_k \quad \forall k \in \mathcal{K}.$$

- Parámetro de categoría base por ítem:

$$k_i^{base} \in \mathcal{K} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Subconjunto “Average/Typical o peor”:

$$\mathcal{K}^{\leq Av} = \{TA, Fa, Po\}.$$

- Variables binarias de estado de calidad:

$$KitchenQual_{i,k} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall k \in \mathcal{K}.$$

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} KitchenQual_{i,k} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variable de activación de mejora:

$$UpgKitch_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Restricciones de activación:

$$UpgKitch_i \geq KitchenQual_{i,k} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall k \in \mathcal{K}^{\leq Av},$$

$$UpgKitch_i \leq \sum_{k \in \mathcal{K}^{\leq Av}} KitchenQual_{i,k} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conjunto permitido dependiente de  $UpgKitch_i$ :

$$\mathcal{K}_{i,allow} = \begin{cases} \{k_i^{base}\} & \text{si } UpgKitch_i = 0, \\ \{k \in \mathcal{K} : C_k \geq C_{k_i^{base}}\} & \text{si } UpgKitch_i = 1. \end{cases}$$

- Variables binarias prefiltradas:

$$KitchenQual_{i,k} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall k \in \mathcal{K}_{i,allow}.$$

- Selección única dentro del conjunto permitido:

$$\sum_{k \in \mathcal{K}_{i,allow}} KitchenQual_{i,k} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$CostoKitchen^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{k \in \mathcal{K}_{i,allow} \\ k \neq k_i^{base}}} C_k KitchenQual_{i,k}.$$

- BsmtFinSF1, BsmtFinSF2, BsmtUnfSF, TotalBsmtSF: Si existe área no terminada del sótano (BsmtUnfSF > 0), se da la posibilidad de terminarla, reasignando toda esa superficie a las zonas terminadas 1 y/o 2. Si se decide terminar, se termina completamente.

- Parámetros base por ítem:

$$(BsmfFinSF1)_i^{base} \in \mathbb{Z}_{\geq 0},$$

$$(BsmfFinSF2)_i^{base} \in \mathbb{Z}_{\geq 0},$$

$$(BsmfUnfSF)_i^{base} \in \mathbb{Z}_{\geq 0},$$

$$(TotalBsmfSF)_i^{base} \in \mathbb{Z}_{\geq 0},$$

con

$$(TotalBsmfSF)_i^{base} = (BsmfFinSF1)_i^{base} + (BsmfFinSF2)_i^{base} + (BsmfUnfSF)_i^{base} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variables de desición:

$$BsmfFinSF1_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}, BsmfFinSF2_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \quad BsmfUnfSF_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variable binaria de decisión para “terminar completamente el sótano”:

$$FinishBSMT_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variables de transferencia de superficie:

$$x_i^{(1)}, x_i^{(2)} \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conservación del total de sótano:

$$BsmfFinSF1_i + BsmfFinSF2_i + BsmfUnfSF_i = (TotalBsmfSF)_i^{base} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Todo o nada sobre el área sin terminar:

$$BsmfUnfSF_i = (1 - FinishBSMT_i) (BsmfUnfSF)_i^{base} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Definición de las zonas terminadas mediante la transferencia:

$$BsmfFinSF1_i = (BsmfFinSF1)_i^{base} + x_i^{(1)}, \quad BsmfFinSF2_i = (BsmfFinSF2)_i^{base} + x_i^{(2)} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se termina, se transfiere **toda** el área no terminada:

$$x_i^{(1)} + x_i^{(2)} = (BsmfUnfSF)_i^{base} FinishBSMT_i \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se termina de construir el sótano se incurre en un costo por méetro cuadrado construido ( $C_{Bsmf}$ ), en la FO agregar: \*\*\*\* REVISAR: debería ser pies cuadrados

$$CostoBsmf = \sum_{i \in \mathcal{I}} C_{Bsmf} (x_i^{(1)} + x_i^{(2)}).$$

- BsmtCond: Si la condición del sótano es *Typical/Average* o peor, entonces puede mantenerse en su nivel base o mejorarse a Good (Gd) o Excellent (Ex), incurriendo en el costo correspondiente.
- Conjunto de categorías posibles:

$$\mathcal{B} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po}\}.$$

- Parámetro de costo:

$$C_b \quad \forall b \in \mathcal{B}.$$

- Parámetro de categoría base por ítem:

$$b_i^{\text{base}} \in \mathcal{B} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Subconjunto “Average/Typical o peor”:

$$\mathcal{B}^{\leq Av} = \{\text{TA, Fa, Po}\}.$$

- Variables binarias de estado de condición:

$$BsmtCond_{i,b} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall b \in \mathcal{B}.$$

$$\sum_{b \in \mathcal{B}} BsmtCond_{i,b} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variable de activación de mejora:

$$UpgBsmt_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Restricciones de activación:

$$UpgBsmt_i \geq BsmtCond_{i,b} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall b \in \mathcal{B}^{\leq Av},$$

$$UpgBsmt_i \leq \sum_{b \in \mathcal{B}^{\leq Av}} BsmtCond_{i,b} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Definición de conjunto permitido dependiente de  $UpgBsmt_i$ :

$$\mathcal{B}_{i,\text{allow}} = \begin{cases} \{b_i^{\text{base}}\} & \text{si } UpgBsmt_i = 0, \\ \{b \in \mathcal{B} : C_b \geq C_{b_i^{\text{base}}}\} & \text{si } UpgBsmt_i = 1. \end{cases}$$

- Variables binarias prefiltradas:

$$BsmtCond_{i,b} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall b \in \mathcal{B}_{i,\text{allow}}.$$

- Selección única dentro del conjunto permitido:

$$\sum_{b \in \mathcal{B}_{i,\text{allow}}} BsmtCond_{i,b} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoBsmtCond}^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{b \in \mathcal{B}_{i, \text{allow}} \\ b \neq b_i^{\text{base}}}} C_b \text{BsmtCond}_{i,b},$$

- BsmtFinType1 y BsmtFinType2: Si existe BsmtFinType1 y BsmtFinType2, entonces si una tipología está en *Rec* o peor (*Rec/LwQ/Unf*), se da la posibilidad de aumentar la calidad puede a una de mayor costo. Si la tipología está en *NA*, no se hace nada se mantiene *NA* y no hay costo.

- Conjunto de categorías:

$$\mathcal{B} = \{\text{GLQ}, \text{ALQ}, \text{BLQ}, \text{Rec}, \text{LwQ}, \text{Unf}, \text{NA}\}.$$

- Subconjunto “Rec o peor”:

$$\mathcal{B}^{\leq \text{Rec}} = \{\text{Rec}, \text{LwQ}, \text{Unf}\}.$$

- Costo por categoría (  $C_{\text{NA}} = 0$ ):

$$C_b \quad \forall b \in \mathcal{B}.$$

- Parámetros de la categoría base:

$$\text{BaseB1}_{i,b} \in \{0, 1\}, \sum_{b \in \mathcal{B}} \text{BaseB1}_{i,b} = 1, \quad \text{BaseB2}_{i,b} \in \{0, 1\}, \sum_{b \in \mathcal{B}} \text{BaseB2}_{i,b} = \text{HasB2}_i.$$

- Indicador de existencia de BsmtFinType2:

$$\text{HasB2}_i \in \{0, 1\}.$$

- Variables:

$$\text{BsmtFinType1}_{i,b_1} \in \{0, 1\} \quad \forall b_1 \in \mathcal{B}, \quad \sum_{b_1 \in \mathcal{B}} \text{BsmtFinType1}_{i,b_1} = 1,$$

$$\text{BsmtFinType2}_{i,b_2} \in \{0, 1\} \quad \forall b_2 \in \mathcal{B}, \quad \sum_{b_2 \in \mathcal{B}} \text{BsmtFinType2}_{i,b_2} = \text{HasB2}_i.$$

- Binarias de activación:

$$\text{UpgB1}_i, \text{UpgB2}_i \in \{0, 1\}.$$

- Activación de binarias:

$$\text{UpgB1}_i \geq \text{BaseB1}_{i,b} \quad \forall b \in \mathcal{B}^{\leq \text{Rec}}, \quad \text{UpgB1}_i \leq \sum_{b \in \mathcal{B}^{\leq \text{Rec}}} \text{BaseB1}_{i,b},$$

$$\text{UpgB2}_i \geq \text{BaseB2}_{i,b} \quad \forall b \in \mathcal{B}^{\leq \text{Rec}}, \quad \text{UpgB2}_i \leq \sum_{b \in \mathcal{B}^{\leq \text{Rec}}} \text{BaseB2}_{i,b}.$$

- Permitidos para BsmtFinType1:

$$\mathcal{B}_{i,\text{allow}}^{(1)} = \begin{cases} \{\text{NA}\} & \text{si } BaseB1_{i,\text{NA}} = 1, \\ \{b : \sum_{b_0} C_b \geq \sum_{b_0} C_{b_0} BaseB1_{i,b_0}\} & \text{si } BaseB1_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpgB1_i = 1, \\ \{b : BaseB1_{i,b} = 1\} & \text{si } BaseB1_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpgB1_i = 0. \end{cases}$$

- Permitidos para BsmtFinType2 (solo si  $HasB2_i = 1$ ):

$$\mathcal{B}_{i,\text{allow}}^{(2)} = \begin{cases} \emptyset & \text{si } HasB2_i = 0, \\ \{\text{NA}\} & \text{si } BaseB2_{i,\text{NA}} = 1, \\ \{b : \sum_{b_0} C_b \geq \sum_{b_0} C_{b_0} BaseB2_{i,b_0}\} & \text{si } BaseB2_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpgB2_i = 1, \\ \{b : BaseB2_{i,b} = 1\} & \text{si } BaseB2_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpgB2_i = 0. \end{cases}$$

$$\sum_{b_1 \in \mathcal{B}_{i,\text{allow}}^{(1)}} BsmtFinType1_{i,b_1} = 1, \quad \sum_{b_2 \in \mathcal{B}_{i,\text{allow}}^{(2)}} BsmtFinType2_{i,b_2} = HasB2_i.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoB1}^A = \sum_i \sum_{\substack{b_1 \in \mathcal{B}_{i,\text{allow}}^{(1)} \\ b_1 \neq b_0}} C_{b_1} BsmtFinType1_{i,b_1}, \quad \text{con } b_0 : BaseB1_{i,b_0} = 1,$$

$$\text{CostoB2}^A = \sum_{i: HasB2_i=1} \sum_{\substack{b_2 \in \mathcal{B}_{i,\text{allow}}^{(2)} \\ b_2 \neq b_0}} C_{b_2} BsmtFinType2_{i,b_2}, \quad \text{con } b_0 : BaseB2_{i,b_0} = 1.$$

- FireplaceQu: Si la calidad de la chimenea es TA, se permite mantener o subir a Gd o Ex. Si es Po, se permite mantener o subir a Fa. Si es NA, no se hace nada.

- Conjunto de categorías:

$$\mathcal{F} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po, NA}\}.$$

- Costo por categoría (definir  $C_{\text{NA}} = 0$  para conveniencia):

$$C_f \quad \forall f \in \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po}\}.$$

- Categoría base por ítem:

$$f_i^{\text{base}} \in \mathcal{F} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$



- Conjunto permitido dependiente de  $f_i^{\text{base}}$ :

$$\mathcal{F}_{i,\text{allow}} = \begin{cases} \{\text{NA}\} & \text{si } f_i^{\text{base}} = \text{NA}, \\ \{\text{TA}, \text{Gd}, \text{Ex}\} & \text{si } f_i^{\text{base}} = \text{TA}, \\ \{\text{Po}, \text{Fa}\} & \text{si } f_i^{\text{base}} = \text{Po}, \\ \{f_i^{\text{base}}\} & \text{si } f_i^{\text{base}} \in \{\text{Fa}, \text{Gd}, \text{Ex}\}. \end{cases}$$

- Variables binarias:

$$\text{FireplaceQu}_{i,f} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall f \in \mathcal{F}_{i,\text{allow}}.$$

- Selección única:

$$\sum_{f \in \mathcal{F}_{i,\text{allow}}} \text{FireplaceQu}_{i,f} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoFire}^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{f \in \mathcal{F}_{i,\text{allow}} \\ f \neq f_i^{\text{base}}}} C_f \text{FireplaceQu}_{i,f}.$$

- Fence: Si la cerca es GdWo o MnWw, se permite mantener o subir a MnPrv o GdPrv. Si es NA, se permite construir con costo por pie cuadrado proporcional a  $\text{LotArea}_i$ .

- Conjunto de categorías:

$$\mathcal{F} = \{\text{GdPrv}, \text{MnPrv}, \text{GdWo}, \text{MnWw}, \text{NA}\}.$$

- Costo por categoría de calidad (definir  $C_{\text{NA}} = 0$ ):

$$C_f^{\text{cat}} \quad \forall f \in \mathcal{F}.$$

- Costo de construcción por pie cuadrado:

$$C_{\text{Fence}}^{\text{psf}} \geq 0.$$

- Parámetro de superficie del lote:

$$\text{LotArea}_i \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Categoría base:

$$f_i^{\text{base}} \in \mathcal{F} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conjunto permitido dependiente de  $f_i^{\text{base}}$ :

$$\mathcal{F}_{i,\text{allow}} = \begin{cases} \{\text{NA}, \text{MnPrv}, \text{GdPrv}\} & \text{si } f_i^{\text{base}} = \text{NA}, \\ \{f_i^{\text{base}}, \text{MnPrv}, \text{GdPrv}\} & \text{si } f_i^{\text{base}} \in \{\text{GdWo}, \text{MnWw}\}, \\ \{f_i^{\text{base}}\} & \text{si } f_i^{\text{base}} \in \{\text{MnPrv}, \text{GdPrv}\}. \end{cases}$$

- Variables binarias:

$$Fence_{i,f} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall f \in \mathcal{F}_{i,\text{allow}}.$$

- Selección única:

$$\sum_{f \in \mathcal{F}_{i,\text{allow}}} Fence_{i,f} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoFence}^{\text{cat}} = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{f \in \mathcal{F}_{i,\text{allow}} \\ f \neq f_i^{\text{base}}}} C_f^{\text{cat}} Fence_{i,f}.$$

- Si se decide construir se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoFence}^{\text{build}} = \sum_{i \in \mathcal{I}: f_i^{\text{base}} = \text{NA}} C_{\text{Fence}}^{\text{psf}} \cdot \text{LotArea}_i \cdot (Fence_{i,\text{MnPrv}} + Fence_{i,\text{GdPrv}}).$$

- Paved Drive: Si es P:Partial Pavement se puede subir a Y: Paved. Si es N: Dirt/Gravel se puede subir a P o Y.

- Conjunto de categorías:

$$\mathcal{D} = \{Y, P, N\}.$$

- Parámetro de costo por categoría:

$$C_d \quad \forall d \in \mathcal{D}.$$

- Categoría base:

$$d_i^{\text{base}} \in \mathcal{D} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conjuntos permitidos:

$$\mathcal{D}_{i,\text{allow}} = \begin{cases} \{Y\} & \text{si } d_i^{\text{base}} = Y, \\ \{P, Y\} & \text{si } d_i^{\text{base}} = P, \\ \{N, P, Y\} & \text{si } d_i^{\text{base}} = N. \end{cases}$$

- Variables:

$$PavedDrive_{i,d} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall d \in \mathcal{D}_{i,\text{allow}},$$

-Restricción:

$$\sum_{d \in \mathcal{D}_{i,\text{allow}}} PavedDrive_{i,d} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoPaved}^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{d \in \mathcal{D}_{i,\text{allow}} \\ d \neq d_i^{\text{base}}}} C_d PavedDrive_{i,d}.$$

- GarageQual y GarageCond: Si alguno es Typical/Average o peor (TA/Fa/Po), entonces ambos pueden mantenerse o subir a una categoría de mayor costo

- Conjunto de categorías:

$$\mathcal{G} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po, NA}\}.$$

- Subconjunto “Average/Typical o peor”:

$$\mathcal{G}^{\leq Av} = \{\text{TA, Fa, Po}\}.$$

- Costos por categoría (definir  $C_{\text{NA}} = 0$ ):

$$C_g^Q \quad \forall g \in \mathcal{G} \quad (\text{GarageQual}), \quad C_g^C \quad \forall g \in \mathcal{G} \quad (\text{GarageCond}).$$

- Parámetro de costos:

$$C_i^{Q,\text{base}} \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (\text{GarageQual}), \quad C_i^{C,\text{base}} \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (\text{GarageCond}).$$

- Parámetros base:

$$BaseGQual_{i,g} \in \{0,1\}, \quad \sum_{g \in \mathcal{G}} BaseGQual_{i,g} = 1,$$

$$BaseGCond_{i,g} \in \{0,1\}, \quad \sum_{g \in \mathcal{G}} BaseGCond_{i,g} = 1.$$

- Variables:

$$GarageQual_{i,g} \in \{0,1\}, \quad \sum_{g \in \mathcal{G}} GarageQual_{i,g} = 1,$$

$$GarageCond_{i,g} \in \{0,1\}, \quad \sum_{g \in \mathcal{G}} GarageCond_{i,g} = 1.$$

- Variable de activación:

$$UpGar_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Restricciones de activación:

$$UpGar_i \geq BaseGQual_{i,g} \quad \forall g \in \mathcal{G}^{\leq Av}, \quad UpGar_i \geq BaseGCond_{i,g} \quad \forall g \in \mathcal{G}^{\leq Av},$$

$$UpGar_i \leq \sum_{g \in \mathcal{G}^{\leq Av}} \left( BaseGQual_{i,g} + BaseGCond_{i,g} \right) \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Permitidos para **GarageQual**:

$$\mathcal{G}_{i,\text{allow}}^Q = \begin{cases} \{\text{NA}\} & \text{si } BaseGQual_{i,\text{NA}} = 1, \\ \{g : C_g^Q \geq C_i^{Q,\text{base}}\} & \text{si } BaseGQual_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpGar_i = 1, \\ \{g : BaseGQual_{i,g} = 1\} & \text{si } BaseGQual_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpGar_i = 0. \end{cases}$$

- Permitidos para **GarageCond**:

$$\mathcal{G}_{i,\text{allow}}^C = \begin{cases} \{\text{NA}\} & \text{si } BaseGCond_{i,\text{NA}} = 1, \\ \{g : C_g^C \geq C_i^{C,\text{base}}\} & \text{si } BaseGCond_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpGar_i = 1, \\ \{g : BaseGCond_{i,g} = 1\} & \text{si } BaseGCond_{i,\text{NA}} = 0 \text{ y } UpGar_i = 0. \end{cases}$$

-Resctricciones:

$$GarageQual_{i,g} = 0 \quad \forall g \notin \mathcal{G}_{i,\text{allow}}^Q, \quad \sum_{g \in \mathcal{G}_{i,\text{allow}}^Q} GarageQual_{i,g} = 1,$$

$$GarageCond_{i,g} = 0 \quad \forall g \notin \mathcal{G}_{i,\text{allow}}^C, \quad \sum_{g \in \mathcal{G}_{i,\text{allow}}^C} GarageCond_{i,g} = 1.$$

-Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoGar}^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \left[ \sum_{\substack{g \in \mathcal{G}_{i,\text{allow}}^Q \\ g \neq g_0^Q}} C_g^Q GarageQual_{i,g} + \sum_{\substack{g \in \mathcal{G}_{i,\text{allow}}^C \\ g \neq g_0^C}} C_g^C GarageCond_{i,g} \right],$$

donde  $k_0^Q$  y  $k_0^C$  son las categorías base tales que  $BaseGQual_{i,k_0^Q} = 1$  y  $BaseGCond_{i,k_0^C} = 1$ .

- Área libre y decisiones de ampliación/agregado: Para agregados se toman en consideración BedRoom, Kitchen, HalfBath y FullBath, los cuales si hay espacio disponible se pueden agregar en orden de uno, es decir uno de

cada uno. Este tipo de habitación se agregan según el área mínima habitable permitida. Para ampliaciones se consideraron GarageArea, WoodDeckSF, OpenPorchSF, EnclosedPorch, 3SsnPorch, ScreenPorch y PoolArea. A estos espacios se les permite ampliar en una escala de 3. Ampliaciones pequeñas involucran un aumento del 10%, ampliaciones moderadas de un 20% y ampliaciones grandes de un 30%.

- Parámetros base:

$$\begin{aligned}
(LotArea)_i &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(GrLivArea)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(GarageArea)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(WoodDeckSF)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(OpenPorchSF)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(EnclosedPorch)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(3SsnPorch)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(ScreenPorch)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(PoolArea)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}.
\end{aligned}$$

- Área libre *base* (parámetro calculado):

$$\begin{aligned}
(AreaLibre)_i^{base} &= (LotArea)_i - \left[ (GrLivArea)_i^{base} + (GarageArea)_i^{base} + (WoodDeckSF)_i^{base} \right. \\
&\quad + (OpenPorchSF)_i^{base} + (EnclosedPorch)_i^{base} + (3SsnPorch)_i^{base} \\
&\quad \left. + (ScreenPorch)_i^{base} + (PoolArea)_i^{base} \right].
\end{aligned}$$

- Superficies fijas de los agregados (ft<sup>2</sup>):

$$A^{Full} = 40, \quad A^{Half} = 20, \quad A^{Kitch} = 75, \quad A^{Bed} = 70.$$

- Ampliaciones porcentuales: para evitar no-enteros, definir como parámetros

$$\Delta_{i,c}^{10} = \lfloor 0.10 \cdot (c)_i^{base} \rfloor, \quad \Delta_{i,c}^{20} = \lfloor 0.20 \cdot (c)_i^{base} \rfloor, \quad \Delta_{i,c}^{30} = \lfloor 0.30 \cdot (c)_i^{base} \rfloor,$$

para cada  $c \in \mathcal{C} = \{GarageArea, WoodDeckSF, OpenPorchSF, EnclosedPorch, 3SsnPorch, ScreenPorch, PoolArea\}$ .

( $\lfloor \cdot \rfloor$  indica redondeo a entero)

- Binarias para agregados puntuales, es decir a lo más se agrega 1 de cada una de las siguientes habitaciones:

$$AddFull_i, AddHalf_i, AddKitch_i, AddBed_i \in \{0, 1\} \quad \forall i.$$

- Ampliaciones porcentuales, a lo más se realiza una ampliación por componente:

$$\begin{aligned} z_{i,c}^{10}, z_{i,c}^{20}, z_{i,c}^{30} &\in \{0, 1\} & \forall i, \forall c \in \mathcal{C}, \\ z_{i,c}^{10} + z_{i,c}^{20} + z_{i,c}^{30} &\leq 1 & \forall i, \forall c \in \mathcal{C}. \end{aligned}$$

- Variables de áreas finales post ampliación:

$$(GrLivArea)_i, (GarageArea)_i, (WoodDeckSF)_i, (OpenPorchSF)_i, (EnclosedPorch)_i, (3SsnPorch)_i, (ScreenPorch)_i, (PoolArea)_i, (AreaLibre)_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}.$$

- Variables contadores de ambientes finales:

$$FullBath_i, HalfBath_i, Bedroom_i, Kitchen_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}.$$

- Vincular agregados al living area y a contadores:

$$(GrLivArea)_i = (GrLivArea)_i^{base} + A^{Kitch} (AddKitch)_i + A^{Bed} (AddBed)_i.$$

$$FullBath_i = (FullBath)_i^{base} + AddFull_i, \quad HalfBath_i = (HalfBath)_i^{base} + AddHalf_i,$$

$$Bedroom_i = (Bedroom)_i^{base} + AddBed_i, \quad Kitchen_i = (Kitchen)_i^{base} + AddKitch_i.$$

- Vincular ampliaciones porcentuales a áreas finales (cada componente  $c$ ):

$$c_i = (c)_i^{base} + \Delta_{i,c}^{10} z_{i,c}^{10} + \Delta_{i,c}^{20} z_{i,c}^{20} + \Delta_{i,c}^{30} z_{i,c}^{30} \quad \forall c \in \mathcal{C}.$$

- Actualización y capacidad de AreaLibre, no se agrega ni amplía si no hay suficiente espacio:

$$\begin{aligned} (AreaLibre)_i &= (AreaLibre)_i^{base} - \left[ A^{Full} (AddFull)_i + A^{Half} (AddHalf)_i + A^{Kitch} (AddKitch)_i \right. \\ &\quad \left. + A^{Bed} (AddBed)_i \right] \\ &\quad - \sum_{c \in \mathcal{C}} \left[ \Delta_{i,c}^{10} z_{i,c}^{10} + \Delta_{i,c}^{20} z_{i,c}^{20} + \Delta_{i,c}^{30} z_{i,c}^{30} \right]. \end{aligned}$$

$$AreaLibre_i \geq 0.$$

- Costo por f<sup>2</sup>:

$$CostoLiv = \sum_i C_{liv} \left( A^{Full} AddFull_i + A^{Half} AddHalf_i + A^{Kitch} AddKitch_i + A^{Bed} AddBed_i \right).$$

- Costo por ampliaciones porcentuales:

$$CostoExt = \sum_i \sum_{c \in \mathcal{C}} \left( C_c^{10} \Delta_{i,c}^{10} z_{i,c}^{10} + C_c^{20} \Delta_{i,c}^{20} z_{i,c}^{20} + C_c^{30} \Delta_{i,c}^{30} z_{i,c}^{30} \right).$$

- PoolQC: La calidad de la piscina puede aumentar si es Typical/Average o peor (TA/Fa/Po).

- Conjunto de categorías:

$$\mathcal{P} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po, NA}\}.$$

- Parámetro de costo por categoría ( $C_{\text{NA}} = 0$ ):

$$C_p \quad \forall p \in \mathcal{P}.$$

- Categoría base por ítem:

$$p_i^{\text{base}} \in \mathcal{P} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Subconjunto “Average/Typical o peor”:

$$\mathcal{P}^{\leq Av} = \{\text{TA, Fa, Po}\}.$$

- Variables binarias de estado de calidad:

$$PoolQC_{i,p} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall p \in \mathcal{P}, \quad \sum_{p \in \mathcal{P}} PoolQC_{i,p} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variable de activación de mejora:

$$UpgPool_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Restricciones de activación:

$$UpgPool_i \geq PoolQC_{i,p} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall p \in \mathcal{P}^{\leq Av},$$

$$UpgPool_i \leq \sum_{p \in \mathcal{P}^{\leq Av}} PoolQC_{i,p} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conjunto permitido:

$$\mathcal{P}_{i,\text{allow}} = \begin{cases} \{\text{NA}\} & \text{si } p_i^{\text{base}} = \text{NA}, \\ \{p_i^{\text{base}}\} & \text{si } p_i^{\text{base}} \neq \text{NA} \text{ y } UpgPool_i = 0, \\ \{p \in \mathcal{P} \setminus \{\text{NA}\} : C_p \geq C_{p_i^{\text{base}}}\} & \text{si } p_i^{\text{base}} \neq \text{NA} \text{ y } UpgPool_i = 1. \end{cases}$$

- Prefiltrado y selección única:

$$PoolQC_{i,p} = 0 \quad \forall p \notin \mathcal{P}_{i,\text{allow}}, \quad \sum_{p \in \mathcal{P}_{i,\text{allow}}} PoolQC_{i,p} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoPool}^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{p \in \mathcal{P}_{i,\text{allow}} \\ p \neq p_i^{\text{base}}}} C_p PoolQC_{i,p}.$$

- GarageFinish: Si el acabado del garaje es RFn: Rough Finished o Unf: Unfinished, se puede subir Fin: Finished.

- Conjunto de categorías:

$$\mathcal{Ga} = \{\text{Fin}, \text{RFn}, \text{Unf}, \text{NA}\}.$$

- Subconjunto “RFn o peor”:

$$\mathcal{Ga}^{\leq \text{RFn}} = \{\text{RFn}, \text{Unf}\}.$$

- Costo por categoría ( $C_{\text{NA}}^{\text{Ga}} = 0$ ):

$$C_{ga}^{\text{Ga}} \quad \forall ga \in \mathcal{Ga}.$$

- Categoría base (one-hot desde datos):

$$\text{BaseGa}_{i,ga} \in \{0, 1\}, \quad \sum_{ga \in \mathcal{Ga}} \text{BaseGa}_{i,ga} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

$$\text{gar}_{i,ga} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \forall ga \in \mathcal{Ga}, \quad \sum_{ga \in \mathcal{Ga}} \text{gar}_{i,ga} = 1.$$

- Variable de activación:

$$\text{UpgGa}_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Restricciones de activación:

$$\text{UpgGa}_i \geq \text{BaseGa}_{i,\text{RFn}}, \quad \text{UpgGa}_i \geq \text{BaseGa}_{i,\text{Unf}},$$

$$\text{UpgGa}_i \leq \text{BaseGa}_{i,\text{RFn}} + \text{BaseGa}_{i,\text{Unf}} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Permitidos (implementados con fijaciones/filtrado):

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{Si } \text{BaseGa}_{i,\text{NA}} = 1 : & \text{gar}_{i,\text{NA}} = 1, \quad \text{gar}_{i,ga} = 0 \quad \forall ga \neq \text{NA}. \\ \text{Si } \text{BaseGa}_{i,\text{Fin}} = 1 : & \text{gar}_{i,\text{Fin}} = 1, \quad \text{gar}_{i,ga} = 0 \quad \forall ga \neq \text{Fin}. \\ \text{Si } \text{BaseGa}_{i,\text{RFn}} = 1 \text{ o } \text{BaseGa}_{i,\text{Unf}} = 1 : & \text{gar}_{i,\text{Fin}} \leq \text{UpgGa}_i, \\ & \sum_{ga \in \mathcal{Ga}^{\leq \text{RFn}}} \text{gar}_{i,ga} \leq 1 - \text{UpgGa}_i, \\ & \sum_{ga \in \mathcal{Ga}} \text{gar}_{i,ga} = 1. \end{array} \right.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, en la FO agregar:

$$\text{CostoGa}^A = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{\substack{ga \in \mathcal{Ga} \\ ga \neq ga_0}} C_{ga}^{\text{Ga}} \text{gar}_{i,ga}, \quad \text{donde } ga_0 \text{ satisface } \text{BaseGa}_{i,ga_0} = 1.$$



## 7 Función objetivo

$$Max(Valorfinal - I)$$

I: Inversión/Presupuesto que incluye todos los costos de construcción.

## 8 Restricciones construcción

hacer relaciones con vecindario y lot area para que sea mas realista

Posibles restricciones del modelo:

**(1) Máximo a contruir dependiendo del barrio** Sea  $\overline{A}_b^{\text{Total}}$  el promedio histórico del área total edificada en el barrio  $b$ , calculado desde la bdd:

$$\overline{A}_b^{\text{Total}} = \frac{1}{N_b} \sum_{j \in \mathcal{I}: \text{Neighborhood}_j = b} (1\text{stFlrSF}_j + 2\text{ndFlrSF}_j + \text{TotalBsmtSF}_j), \quad \forall b \in \mathcal{B}.$$

Definición de área total de la vivienda  $i$

$$\text{TotalArea}_i := 1\text{stFlrSF}_i + 2\text{ndFlrSF}_i + \text{TotalBsmtSF}_i, \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

Área máxima por barrio

$$\text{TotalArea}_i \leq \overline{A}_{\text{Neighborhood}_i}^{\text{Total}} \quad \forall i \in \mathcal{I}. (1)$$

**(2) El área total construida no puede superar el terreno**

$$1\text{stFlrSF}_{\text{new}} + \text{TotalPorch}_{\text{new}} + \text{PoolArea}_{\text{new}} \leq \text{LotArea} \quad (2)$$

**(3) Se pueden contruir maximo 2 pisos**

$$2\text{ndFlrSF}_i \leq 1\text{stFlrSF}_i,$$

Falta acotar a que sea maximo 2 pisos (3)

**(4) Consistencias de área**

$$\text{TotalBsmtSF}_i = \text{BsmtFinSF1}_i + \text{BsmtFinSF2}_i + \text{BsmtUnfSF}_i, \quad (4)$$

$$\text{GrLivArea}_i = 1\text{stFlrSF}_i + 2\text{ndFlrSF}_i + \text{LowQualFinSF}_i, \quad (5)$$

$$\text{TotalArea}_i = 1\text{stFlrSF}_i + 2\text{ndFlrSF}_i + \text{TotalBsmtSF}_i. \quad (6)$$

(5) Las half-bath (de visita) sólo pueden existir si ya hay al menos un baño completo .

$$\text{HalfBath}_i \leq \text{FullBath}_i \quad \forall i \in \mathcal{I}. \quad (7)$$

(6) Cada 3 piezas 2 baños completos

$$\text{FullBath}_i \geq \frac{2}{3} \text{Bedroom}_i. \quad (8)$$

(7) El número de habitaciones no puede ser mayor que el permitido por la superficie construida.

(8)\*\*\*\* Mínimos/máximos por ambiente Definimos el número de *otras habitaciones*:

$$\text{OtherRooms}_i = \text{TotRmsAbvGrd}_i - \text{Bedroom}_i - \text{Kitchen}_i \quad (\geq 0).$$

(Revisar)

(a) Cota inferior agregada (suma de mínimos razonables)

$$\text{GrLivArea}_i \geq a_{min}^{bed} \text{Bedroom}_i + a_{min}^{kit} \text{Kitchen}_i + a_{min}^{oth} \text{OtherRooms}_i. \quad (9)$$

(b) Cota superior agregada (suma de máximos razonables)

$$\text{GrLivArea}_i \leq a_{max}^{bed} \text{Bedroom}_i + a_{max}^{kit} \text{Kitchen}_i + a_{max}^{oth} \text{OtherRooms}_i. \quad (10)$$

(9) Funcionalidad mínima

$$\text{Kitchen}_i \geq 1, \quad (11)$$

$$\text{Bedroom}_i \geq 1, \quad (12)$$

$$\text{FullBath}_i \geq 1. \quad (13)$$

(10) Consistencias de áreas internas

$$\text{TotalBsmtSF} = \text{BsmtFinSF1} + \text{BsmtFinSF2} + \text{BsmtUnfSF}, \quad (14)$$

$$\text{GrLivArea} = \text{1stFlrSF} + \text{2ndFlrSF} + \text{LowQualFinSF}. \quad (15)$$

(11) Presupuesto de construcción

$$\begin{aligned} \text{Cost}_i^{build} = & C_{flr}^{str} (\text{1stFlrSF}_i + \text{2ndFlrSF}_i) + C_{bsmt}^{str} \text{TotalBsmtSF}_i \\ & + C^{garage} \text{GarageArea}_i + C^{porch} \text{TotalPorchSF}_i + C^{deck} \text{WoodDeckSF}_i + C^{pool} \text{PoolArea}_i + \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{Cost}_i^{build} \leq I_i. \quad (17)$$

(Aquí tome  $C^{pool}$  cómo el costo de construir un pie cuadrado de piscina y eso se multiplica por PoolArea que es la cantidad de pies de los que deseo hacer piscina (variable decision).

También tomé  $C_{floor}^{str}$  como el costo de construir un pie cuadrado de casa.

$C_{basement}^{str}$  = Costo por pie <sup>2</sup>desótanoconstruido.

$C^{mvn}$  costo de revestimiento

$C^{MEP}$  = costo de instalaciones

Me falta agregar algunos costos, como si se decide pavimentar la entrada, o cosas así

Falta incluir costo de estilo de techo

**Costo de techo según estilo FO**

$$\text{Cost}_s = C_s \cdot 1stFlrSF_i \quad (18)$$

ME falta definir que se multiplique por el area del segundo piso en caso de tener

**Costo de techo según material FO**

$$\text{Cost}_m = C_m \cdot 1stFlrSF_i - \quad (19)$$

**Costo total de piscina**

$$\text{Cost}_i^{pool} = C_{pool} \cdot \text{PoolArea}_i$$

(20)

6.Cada tipo de ambiente debe tener un área mínima razonable. (esto se puede relacionar con el minimo que tiene la cocina basica y el maximo de la cocina top)

**Variables de área:**

- $Area_{Kitchen} \in \mathbb{R}^+$ : Área total de cocinas (m<sup>2</sup>)
- $Area_{FullBath} \in \mathbb{R}^+$ : Área total de baños completos (m<sup>2</sup>)
- $Area_{Bedroom} \in \mathbb{R}^+$ : Área total de dormitorios (m<sup>2</sup>)
- $Area_{Pool} \in \mathbb{R}^+$ : Área total de piscinas (m<sup>2</sup>)

**Restricciones:**

$$Area_{Kitchen} \geq 7 \quad (21)$$

$$Area_{FullBath} \geq 5 \quad (22)$$

$$Area_{Bedroom} \geq 9 \quad (23)$$

$$Area_{Pool} \geq 15 \quad (24)$$

7. Máximo de ambientes repetidos (maximo número de cocina, comedores, etc.)

$$Kitchen \leq 3 \quad (25)$$

$$Bedroom \leq 6 \quad (26)$$

$$FullBath \leq 4 \quad (27)$$

13. Relación baños/pisos: al menos 1 baño por piso habitable

$$FullBath_i + HalfBath_i \geq floors_i \quad (28)$$

- Restricciones relacionadas al sótano **Variables:**

- $BsmtFinSF1 \in \mathbb{R}^+$ : Área terminada tipo 1 (pies<sup>2</sup>)
- $BsmtFinSF2 \in \mathbb{R}^+$ : Área terminada tipo 2 (pies<sup>2</sup>)
- $BsmtUnfSF \in \mathbb{R}^+$ : Área sin terminar (pies<sup>2</sup>)
- $TotalBsmtSF \in \mathbb{R}^+$ : Área total del sótano (pies<sup>2</sup>)
- $HasBsmtFin1 \in \{0, 1\}$ : 1 si existe sótano tipo 1, 0 si no
- $HasBsmtFin2 \in \{0, 1\}$ : 1 si existe sótano tipo 2, 0 si no

**Restricción: Consistencia de Áreas**

$$BsmtFinSF1 + BsmtFinSF2 + BsmtUnfSF = TotalBsmtSF \quad (29)$$

**Restricción: Dependencia Calidad-Área Tipo 1**

$$BsmtFinSF1 \leq TotalBsmtSF \cdot HasBsmtFin1 \quad (30)$$

$$BsmtFinSF1 \geq 0 \quad (31)$$

**Restricción: Dependencia Calidad-Área Tipo 2**

$$BsmtFinSF2 \leq TotalBsmtSF \cdot HasBsmtFin2 \quad (32)$$

$$BsmtFinSF2 \geq 0 \quad (33)$$

Estas restricciones garantizan que solo se asigne área terminada a un tipo de sótano si este existe realmente, evitando inconsistencias como tener metros cuadrados de sótano terminado cuando no hay sótano. Básicamente, ligamos la existencia del sótano (variable binaria) con su área correspondiente, asegurando que el área sea cero si no existe y que no supere el área total disponible si existe.

**Restricción variable heating:**

- $Heating_{Floor} \in \{0, 1\}$ : 1 si calefacción es Floor Furnace
- $Heating_{GasA} \in \{0, 1\}$ : 1 si calefacción es Gas forced warm air furnace
- $Heating_{GasW} \in \{0, 1\}$ : 1 si calefacción es Gas hot water or steam heat

- $Heating_{Grav} \in \{0, 1\}$ : 1 si calefacción es Gravity furnace
- $Heating_{OthW} \in \{0, 1\}$ : 1 si calefacción es Hot water or steam heat other than gas
- $Heating_{Wall} \in \{0, 1\}$ : 1 si calefacción es Wall furnace

- Restricción: Exclusividad del Sistema de Calefacción

$$Heating_{Floor} + Heating_{GasA} + Heating_{GasW} + Heating_{Grav} + Heating_{OthW} + Heating_{Wall} = 1 \quad (34)$$

#### Variables para restricción de selección de un solo sistema electrico

:

- $Electrical_{SBrkr} \in \{0, 1\}$ : 1 si sistema eléctrico es Standard Circuit Breakers & Romex
- $Electrical_{FuseA} \in \{0, 1\}$ : 1 si sistema eléctrico es Fuse Box over 60 AMP
- $Electrical_{FuseF} \in \{0, 1\}$ : 1 si sistema eléctrico es 60 AMP Fuse Box (Fair)
- $Electrical_{FuseP} \in \{0, 1\}$ : 1 si sistema eléctrico es 60 AMP Fuse Box (Poor)
- $Electrical_{Mix} \in \{0, 1\}$ : 1 si sistema eléctrico es Mixed

- Restricción : Exclusividad del Sistema Eléctrico

$$Electrical_{SBrkr} + Electrical_{FuseA} + Electrical_{FuseF} + Electrical_{FuseP} + Electrical_{Mix} = 1 \quad (35)$$

#### Variables de RoofStyle para restricción:

- $RoofStyle_{Flat} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Flat
- $RoofStyle_{Gable} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Gable
- $RoofStyle_{Gambrel} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Gambrel
- $RoofStyle_{Hip} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Hip
- $RoofStyle_{Mansard} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Mansard
- $RoofStyle_{Shed} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Shed

- Restricción 1: Exclusividad de Estilo de Techo

$$RoofStyle_{Flat} + RoofStyle_{Gable} + RoofStyle_{Gambrel} + RoofStyle_{Hip} + RoofStyle_{Mansard} + RoofStyle_{Shed} = 1 \quad (36)$$

#### Variables de RoofMatl para restricción:

- $RoofMatl_{ClayTile} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Clay or Tile
- $RoofMatl_{CompShg} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Composite Shingle
- $RoofMatl_{Membran} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Membrane
- $RoofMatl_{Metal} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Metal
- $RoofMatl_{Roll} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Roll
- $RoofMatl_{TarGrv} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Gravel & Tar
- $RoofMatl_{WdShake} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Wood Shakes
- $RoofMatl_{WdShngl} \in \{0, 1\}$ : 1 si material es Wood Shingles

Restricción 2: Exclusividad de Material de Techo

$$RoofMatl_{ClayTile} + RoofMatl_{CompShg} + RoofMatl_{Membran} + RoofMatl_{Metal} + RoofMatl_{Roll} + RoofMatl_{TarGrv} + RoofMatl_{WdShake} + RoofMatl_{WdShngl} = 1 \quad (37)$$

**Restricción de Compatibilidad entre RoofStyle y RoofMatl, Parámetros:**

- $A_{s,m} \in \{0, 1\}$ : 1 si el estilo de techo  $s$  es compatible con el material  $m$ , 0 en caso contrario

- Variables:

- $RoofStyle_s \in \{0, 1\}$ : 1 si se selecciona el estilo de techo  $s$
- $RoofMatl_m \in \{0, 1\}$ : 1 si se selecciona el material de techo  $m$

- Restricción: Compatibilidad Estilo-Material

$$\sum_s \sum_m RoofStyle_s \cdot RoofMatl_m \cdot (1 - A_{s,m}) = 0 \quad (38)$$

**Alternativamente:**

$$RoofStyle_s + RoofMatl_m \leq 1 + A_{s,m} \quad \forall s, \forall m \quad (39)$$

**Restricciones para Variable HouseStyle, Variables:**

- $HouseStyle_{1Story} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es One story
- $HouseStyle_{1.5Fin} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es One and one-half story: 2nd level finished
- $HouseStyle_{1.5Unf} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es One and one-half story: 2nd level unfinished
- $HouseStyle_{2Story} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Two story

- $HouseStyle_{2.5Fin} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Two and one-half story: 2nd level finished
- $HouseStyle_{2.5Unf} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Two and one-half story: 2nd level unfinished
- $HouseStyle_{SFoyer} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Split Foyer
- $HouseStyle_{SLvl} \in \{0, 1\}$ : 1 si estilo es Split Level

- Restricción 1: Máximo 2 Pisos Completos

$$HouseStyle_{2.5Fin} + HouseStyle_{2.5Unf} = 0 \quad (40)$$

- Restricción 2: Todos los Pisos Terminados

$$HouseStyle_{1.5Unf} + HouseStyle_{2.5Unf} = 0 \quad (41)$$

- Restricción 3: Exclusividad de Estilo

$$HouseStyle_{1Story} + HouseStyle_{1.5Fin} + HouseStyle_{1.5Unf} + HouseStyle_{2Story} + HouseStyle_{2.5Fin} + HouseStyle_{2.5Unf} + HouseStyle_{SFoyer} + HouseStyle_{SLvl} = 1 \quad (42)$$

#### Restricciones para Variables Exterior, Variables:

- $UseExterior1st \in \{0, 1\}$ : 1 si se usa material principal
- $UseExterior2nd \in \{0, 1\}$ : 1 si se usa material secundario
- $SameMaterial \in \{0, 1\}$ : 1 si ambos materiales son iguales

- Restricción 1: Material Principal Obligatorio

$$UseExterior1st = 1 \quad (43)$$

- Restricción 2: Material Secundario Condicional

$$UseExterior2nd \leq 1 - SameMaterial \quad (44)$$

$$UseExterior2nd \geq 0 \quad (45)$$

#### Donde:

- Si  $SameMaterial = 1$  (materiales iguales)  $\Rightarrow UseExterior2nd = 0$
- Si  $SameMaterial = 0$  (materiales diferentes)  $\Rightarrow UseExterior2nd$  puede ser 0 o 1

#### Restricciones para Variable MasVnrType, Variables:

- $MasVnrType_{BrkCmn} \in \{0, 1\}$ : 1 si revestimiento es Brick Common

- $MasVnrType_{BrkFace} \in \{0, 1\}$ : 1 si revestimiento es Brick Face
- $MasVnrType_{CBlock} \in \{0, 1\}$ : 1 si revestimiento es Cinder Block
- $MasVnrType_{None} \in \{0, 1\}$ : 1 si no hay revestimiento
- $MasVnrType_{Stone} \in \{0, 1\}$ : 1 si revestimiento es Stone
- $MasVnrArea \in \mathbb{R}^+$ : Área de revestimiento (pies<sup>2</sup>)

- Restricción 1: Exclusividad del Tipo de Revestimiento

$$MasVnrType_{BrkCmn} + MasVnrType_{BrkFace} + MasVnrType_{CBlock} + MasVnrType_{None} + MasVnrType_{Stone} = 1 \quad (46)$$

- Restricción 2: Consistencia con Área de Revestimiento

$$MasVnrArea \leq M \cdot (1 - MasVnrType_{None}) \quad (47)$$

$$MasVnrArea \geq 0 \quad (48)$$

- Donde:

- $M$ : Constante suficientemente grande (ej: área máxima posible de revestimiento)
- Si  $MasVnrType_{None} = 1 \Rightarrow MasVnrArea = 0$
- Si  $MasVnrType_{None} = 0 \Rightarrow MasVnrArea \geq 0$  (puede tener área positiva)

**Restricción para Variable PavedDrive, Variables:**

- $PavedDrive_Y \in \{0, 1\}$ : 1 si el acceso es pavimentado completo
- $PavedDrive_P \in \{0, 1\}$ : 1 si el acceso es pavimentado parcial
- $PavedDrive_N \in \{0, 1\}$ : 1 si el acceso es de tierra/grava

-Restricción: Exclusividad del Tipo de Acceso

$$PavedDrive_Y + PavedDrive_P + PavedDrive_N = 1 \quad (49)$$

## 9 Parámetros

**Modelo de construcción:**

- ***MSZoning<sub>i</sub>***: Identifica la clasificación general de zonificación de la venta.
- ***LotFrontage<sub>i</sub>***: Pies lineales de calle conectados a la propiedad.
- ***LotArea<sub>i</sub>***: Tamaño del lote en pies cuadrados.



- ***Street<sub>i</sub>***: Tipo de acceso desde la calle a la propiedad.
- ***Alley<sub>i</sub>***: Tipo de acceso desde callejón a la propiedad.
- ***LotShape<sub>i</sub>***: Forma general de la propiedad.
- ***LandContour<sub>i</sub>***: Nivelación del terreno.
- ***LotConfig<sub>i</sub>***: Configuración del lote.
- ***LandSlope<sub>i</sub>***: Pendiente de la propiedad.
- ***Neighborhood<sub>i</sub>***: Ubicaciones físicas dentro de los límites de la ciudad de Ames.
- ***Condition1***: Proximidad a diversas condiciones.
- ***Condition2<sub>i</sub>***: Proximidad a varias condiciones (si hay más de una presente).
- ***OverallQual<sub>i</sub>***: Califica el material general y el acabado de la casa.
- ***OverallCond<sub>i</sub>***: Califica el estado general de la casa.
- ***YearBuilt<sub>i</sub>***: Fecha de construcción original.
- ***YearRemodAdd<sub>i</sub>***: Fecha de remodelación (igual que la fecha de construcción si no hay remodelaciones ni adiciones).
- ***ExterQual<sub>i</sub>***: Evalúa la calidad del material en el exterior.
- ***ExterCond<sub>i</sub>***: Evalúa el estado actual del material en el exterior.
- ***BsmtQual<sub>i</sub>***: Evalúa la altura del sótano.
- ***BsmtCond<sub>i</sub>***: Evalúa el estado general del sótano.
- ***HeatingQC<sub>i</sub>***: Calidad y estado de la calefacción.
- ***Functional<sub>i</sub>***: Funcionalidad del hogar (Asuma típica a menos que se justifiquen deducciones).
- ***FireplaceQu<sub>i</sub>***: Calidad de la chimenea.
- ***KitchenQual<sub>i</sub>***: Calidad de la cocina.
- ***GarageYrBlt<sub>i</sub>***: Año de construcción del garaje.
- ***GarageQual<sub>i</sub>***: Calidad del garaje.
- ***GarageCond<sub>i</sub>***: Estado del garaje.
- ***PoolQC<sub>i</sub>***: Calidad de la piscina.
- ***Fence<sub>i</sub>***: Calidad de la cerca.

- ***MiscVal<sub>i</sub>***: Valor de la característica miscelánea.
- ***MoSold<sub>i</sub>***: Mes vendido (MM).
- ***YrSold<sub>i</sub>***: Año de venta (AAAA).

**Modelo de remodelacion:** Para este caso, se iniciara todo como parámetro, ya que a partir de la información de la vivienda que se quiere remodelar se harán los respectivos cambios. Es decir, depende de la casa base que se quiere remodelar.

- ***MSSubClass<sub>i</sub>***: Identifica el tipo de vivienda involucrada en la venta.
- ***MSZoning<sub>i</sub>***: Identifica la clasificación general de zonificación de la venta. venta.
- ***LotFrontage<sub>i</sub>***: Pies lineales de calle conectados a la propiedad.
- ***LotArea<sub>i</sub>***: Tamaño del lote en pies cuadrados.
- ***Street<sub>i</sub>***: Tipo de acceso desde la calle a la propiedad.
- ***Alley<sub>i</sub>***: Tipo de acceso desde callejón a la propiedad.
- ***LotShape<sub>i</sub>***: Forma general de la propiedad.
- ***LandContour<sub>i</sub>***: Nivelación del terreno.
- ***Utilities<sub>i</sub>***: Tipo de servicios públicos disponibles.
- ***LotConfig<sub>i</sub>***: Configuración del lote.
- ***LandSlope<sub>i</sub>***: Pendiente de la propiedad.
- ***Neighborhood<sub>i</sub>***: Ubicaciones físicas dentro de los límites de la ciudad de Ames.
- ***Condition1<sub>i</sub>***: Proximidad a diversas condiciones.
- ***Condition2<sub>i</sub>***: Proximidad a varias condiciones (si hay más de una presente).
- ***BldgType<sub>i</sub>***: Tipo de vivienda.
- ***HouseStyle<sub>i</sub>***: Estilo de vivienda.
- ***OverallQual<sub>i</sub>***: Califica el material general y el acabado de la casa.
- ***OverallCond<sub>i</sub>***: Califica el estado general de la casa.
- ***YearBuilt<sub>i</sub>***: Fecha de construcción original.
- ***YearRemodAdd<sub>i</sub>***: Fecha de remodelación (igual que la fecha de construcción si no hay remodelaciones ni adiciones).

- ***RoofStyle<sub>i</sub>***: Tipo de techo.
- ***RoofMatl<sub>i</sub>***: Material del techo.
- ***Exterior1st<sub>i</sub>***: Revestimiento exterior de la casa.
- ***Exterior2nd<sub>i</sub>***: Revestimiento exterior de la casa (si hay más de un material).
- ***MasVnrType<sub>i</sub>***: Tipo de revestimiento de mampostería.
- ***MasVnrArea<sub>i</sub>***: área de revestimiento de mampostería en pies cuadrados.
- ***ExterQual<sub>i</sub>***: Evalúa la calidad del material en el exterior.
- ***ExterCond<sub>i</sub>***: Evalúa el estado actual del material en el exterior.
- ***Foundation<sub>i</sub>***: Tipo de cimentación.
- ***BsmtQual<sub>i</sub>***: Evalúa la altura del sótano.
- ***BsmtCond<sub>i</sub>***: Evalúa el estado general del sótano.
- ***BsmtExposure<sub>i</sub>***: Se refiere a muros a nivel de jardín o de acceso.
- ***BsmtFinType1<sub>i</sub>***: Clasificación del área terminada del sótano.
- ***BsmtFinSF1<sub>i</sub>***: Pies cuadrados terminados tipo 1.
- ***BsmtFinType2<sub>i</sub>***: Clasificación del área terminada del sótano (si hay varios tipos).
- ***BsmtFinSF2<sub>i</sub>***: Pies cuadrados terminados tipo 2.
- ***BsmtUnfSF<sub>i</sub>***: Metros cuadrados sin terminar del área del sótano.
- ***TotalBsmtSF<sub>i</sub>***: Total de pies cuadrados del área del sótano.
- ***Heating<sub>i</sub>***: Tipo de calefacción.
- ***HeatingQC<sub>i</sub>***: Calidad y estado de la calefacción.
- ***CentralAir<sub>i</sub>***: Aire acondicionado centralizado.
- ***Electrical<sub>i</sub>***: Sistema eléctrico.
- ***1stFlrSF<sub>i</sub>***: Pies cuadrados del primer piso.
- ***2ndFlrSF<sub>i</sub>***: Pies cuadrados del segundo piso.
- ***LowQualFinSF<sub>i</sub>***: Pies cuadrados terminados de baja calidad (todos los pisos).

- ***GrLivArea<sub>i</sub>***: Superficie habitable sobre el nivel del suelo (pies cuadrados).
- ***BsmtFullBath<sub>i</sub>***: Baños completos en sótano.
- ***BsmtHalfBath<sub>i</sub>***: Medios baños en sótano.
- ***FullBath<sub>i</sub>***: Baños completos sobre el nivel del suelo.
- ***HalfBath<sub>i</sub>***: Medios baños sobre el nivel del suelo.
- ***Bedroom<sub>i</sub>***: Dormitorios sobre el nivel del suelo (no incluye dormitorios en el sótano).
- ***Kitchen<sub>i</sub>***: Cocinas sobre el nivel del suelo.
- ***KitchenQual<sub>i</sub>***: Calidad de la cocina.
- ***TotRmsAbvGrd<sub>i</sub>***: Total de habitaciones sobre el nivel del suelo (no incluye baños).
- ***Functional<sub>i</sub>***: Funcionalidad del hogar (Asuma típica a menos que se justifiquen deducciones).
- ***Fireplaces<sub>i</sub>***: Número de chimeneas.
- ***FireplaceQu<sub>i</sub>***: Calidad de la chimenea.
- ***GarageType<sub>i</sub>***: Ubicación del garaje.
- ***GarageYrBlt<sub>i</sub>***: Año de construcción del garaje.
- ***GarageFinish<sub>i</sub>***: Acabado interior del garaje.
- ***GarageCars<sub>i</sub>***: Tamaño del garaje en capacidad de coches.
- ***GarageArea<sub>i</sub>***: Tamaño del garaje en pies cuadrados.
- ***GarageQual<sub>i</sub>***: Calidad del garaje.
- ***GarageCond<sub>i</sub>***: Estado del garaje.
- ***PavedDrive<sub>i</sub>***: Camino de entrada pavimentado.
- ***WoodDeckSF<sub>i</sub>***: Área de cubierta de madera en pies cuadrados.
- ***OpenPorchSF<sub>i</sub>***: Área de porche abierto en pies cuadrados.
- ***EnclosedPorch<sub>i</sub>***: Área de porche cerrado en pies cuadrados.
- ***3SsnPorch<sub>i</sub>***: Área de porche de tres estaciones en pies cuadrado.
- ***ScreenPorch<sub>i</sub>***: Área del porche con mosquitero en pies cuadrados.
- ***PoolArea<sub>i</sub>***: Área de la piscina en pies cuadrados.

- ***PoolQC<sub>i</sub>***: Calidad de la piscina.
- ***Fence<sub>i</sub>***: Calidad de la cerca.
- ***MiscFeature<sub>i</sub>***: Características diversas no cubiertas en otras categorías.
- ***MiscVal<sub>i</sub>***: Valor de la característica miscelánea.
- ***MoSold<sub>i</sub>***: Mes vendido (MM).
- ***YrSold<sub>i</sub>***: Año de venta (AAAA).
- ***SaleType<sub>i</sub>***: Tipo de venta.
- ***SaleCondition<sub>i</sub>***: Condición de venta.

## 10 Naturaleza de las variables

Modelo de construcción:

A continuación se detallan las variables que se utilizan para el modelo de construcción de una vivienda  $i \in \{1, \dots, I\}$  desde cero. Para mayor entendimiento de los subíndices de las variables pueden revisarlo en el archivo `data_description.txt`.

Variable	Descripción
<b><i>MSSubClass<sub>i,s</sub></i></b> $\in \{0, 1\}$ $s \in \{20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 85, 90, 120, 150, 160, 180, 190\}$	Identifica el tipo de vivienda involucrada en la venta.
<b><i>Utilities<sub>i,u</sub></i></b> $\in \{0, 1\}$ $u \in \{AllPub, NoSewr, NoSeWa, ELO\}$	Tipo de servicios públicos disponibles
<b><i>BldgType<sub>i,b</sub></i></b> $\in \{0, 1\}$ $b \in \{1Fam, 2FmCon, Duplx, TwnhsE, TwnhsI\}$	Tipo de vivienda.
<b><i>HouseStyle<sub>i,hs</sub></i></b> $\in \{0, 1\}$ $hs \in \{1Story, 1.5Fin, 1.5Unf, 2Story, 2.5Fin, 2.5Unf, SFoyer, SLvl\}$	Estilo de vivienda.
<b><i>RoofStyle<sub>i,r</sub></i></b> $\in \{0, 1\}$ $r \in \{Flat, Gable, Gambrel, Hip, Mansard, Shed\}$	Tipo de techo
<b><i>RoofMatl<sub>i,m</sub></i></b> $\in \{0, 1\}$ $m \in \{ClyTile, CompShg, Membran, Metal, Roll, TarGrv, WdShake, WdShngl\}$	Material del techo
<b><i>Exterior1st<sub>i,e1</sub></i></b> $\in \{0, 1\}$ $e1 \in \{AsbShng, AsphShn, BrkComm, BrkFace, CBlock, CemntBd, HdBoard, ImStucc, MetalSd, Other, Plywood, PreCast, Stone, Stucco, VinylSd, WdSdng, WdShing\}$	Revestimiento exterior de la casa

<b><i>Exterior2nd</i></b> $i, e_2 \in \{0, 1\}$ $e_2 \in \{AsbShng, AsphShn, BrkComm, BrkFace, CBlock, CemntBd, HdBoard, ImStucc, MetalSd, Other, Plywood, PreCast, Stone, Stucco, VinylSd, WdSdng, WdShing\}$	Revestimiento exterior de la casa (si hay más de un material).
<b><i>MasVnrType</i></b> $i, t \in \{0, 1\}$ $t \in \{BrkCmn, BrkFace, CBlock, None, Stone\}$	Tipo de revestimiento de mampostería
<b><i>MasVnrArea</i></b> $i \geq 0, MasVnrArea_i \in \mathbb{Z}$	Área de revestimiento de mampostería en pies cuadrados.
<b><i>Foundation</i></b> $i, f \in \{0, 1\}$ $f \in \{BrkTil, CBlock, PConc, Slab, Stone, Wood\}$	Tipo de cimentación.
<b><i>BsmtExpoure</i></b> $i, x \in \{0, 1\}$ $x \in \{Gd, Av, Mn, No, NA\}$	Se refiere a muros a nivel de jardín o de acceso.
<b><i>BsmtFinType1</i></b> $i, b1 \in \{0, 1\}$ $b1 \in \{GLQ, ALQ, BLQ, Rec, LwQ, Unf, NA\}$	Clasificación del área terminada del sótano.
<b><i>BsmtFinSF1</i></b> $i, sf1 \geq 0, BsmtFinSF1_{i, sf1} \in \mathbb{Z}$	Pies cuadrados terminados tipo 1.
<b><i>BsmtFinType2</i></b> $i, b2$ $b2 \in \{GLQ, ALQ, BLQ, Rec, LwQ, Unf, NA\}$	Clasificación del área terminada del sótano (si hay varios tipos).
<b><i>BsmtFinSF2</i></b> $i \geq 0, BsmtFinSF2_i \in \mathbb{Z}$	Pies cuadrados terminados tipo 2.
<b><i>BsmtUnfSF</i></b> $i \geq 0, BsmtUnfSF_i \in \mathbb{Z}$	Metros cuadrados sin terminar del área del sótano.
<b><i>TotalBsmtSF</i></b> $i \geq 0, TotalBsmtSF_i \in \mathbb{Z}$	Total de pies cuadrados del área del sótano.
<b><i>Heating</i></b> $i, h \in \{0, 1\}$ $h \in \{Floor, GasA, GasW, Grav, OthW, Wall\}$	Tipo de calefacción.
<b><i>CentralAir</i></b> $i, a \in \{0, 1\}$ $a \in \{Yes, No\}$	Aire acondicionado centralizado.
<b><i>Electrical</i></b> $i, e \in \{0, 1\}$ $e \in \{SBrkr, FuseA, FuseF, FuseP, Mix\}$	Sistema eléctrico.
<b><i>1stFlrSF</i></b> $i \geq 0, 1stFlrSF_i \in \mathbb{Z}$	Pies cuadrados del primer piso.
<b><i>2ndFlrSF</i></b> $i \geq 0, 2ndFlrSF_i \in \mathbb{Z}$	Pies cuadrados del segundo piso.
<b><i>LowQualFinSF</i></b> $i \geq 0, LowQualFinSF_i \in \mathbb{Z}$	Pies cuadrados terminados de baja calidad (todos los pisos).
<b><i>GrLivArea</i></b> $i \geq 0, GrLivArea_i \in \mathbb{Z}$	Superficie habitable sobre el nivel del suelo (pies cuadrados).
<b><i>BsmtFullBath</i></b> $i \geq 0, BsmtFullBath_i \in \mathbb{Z}$	Baños completos en sótano.
<b><i>BsmtHalfBath</i></b> $i \geq 0, BsmtHalfBath_i \in \mathbb{Z}$	Medios baños del sótano.
<b><i>FullBath</i></b> $i \geq 0, FullBath_i \in \mathbb{Z}$	Baños completos sobre el nivel del suelo.
<b><i>HalfBath</i></b> $i \geq 0, HalfBath_i \in \mathbb{Z}$	Medios baños sobre el nivel del suelo.

$Bedroom_i \geq 0, Bedroom_i \in \mathbb{Z}$	Dormitorios sobre el nivel del suelo (no incluye dormitorios en el sótano).
$Kitchen_i \geq 0, Kitchen_i \in \mathbb{Z}$	Cocinas sobre el nivel del suelo.
$TotRmsAbvGrd_i \geq 0, TotRmsAbvGrd_i \in \mathbb{Z}$	Total de habitaciones sobre el nivel del suelo (no incluye baños).
$Fireplaces_i \geq 0, Fireplaces_i \in \mathbb{Z}$	Número de chimeneas.
$GarageType_{i,g} \in \{0, 1\}$ $g \in \{2Types, Attchd, Basement, BuiltIn, CarPort, Detchd, Noaplica\}$	Ubicación del garaje.
$GarageFinish_{i,gf} \in \{0, 1\}$ $gf \in \{Fin, RFn, Unf, Noaplica\}$	Acabado interior del garaje.
$GarageCars_i \geq 0, GarageCars_i \in \mathbb{Z}$	Tamaño del garaje en capacidad de coches.
$GarageArea_i \geq 0, GarageArea_i \in \mathbb{Z}$	Tamaño del garaje en pies cuadrados.
$PavedDrive_{i,p} \in \{0, 1\}$ $p \in \{Paved, PartialPavement, Dirt/Gravel\}$	Camino de entrada pavimentado.
$WoodDeckSF_i \geq 0, WoodDeckSF_i \in \mathbb{Z}$	Área de cubierta de madera en pies cuadrados.
$OpenPorchSF_i \geq 0, OpenPorchSF_i \in \mathbb{Z}$	Área de porche abierto en pies cuadrados.
$EnclosedPorch_i \geq 0, EnclosedPorch_i \in \mathbb{Z}$	Área de porche cerrado en pies cuadrados.
$3SsnPorch_i \geq 0, 3SsnPorch_i \in \mathbb{Z}$	Área de porche de tres estaciones en pies cuadrado.
$ScreenPorch_i \geq 0, ScreenPorch_i \in \mathbb{Z}$	Área del porche con mosquitero en pies cuadrados.
$PoolArea_i \geq 0, PoolArea_i \in \mathbb{Z}$	Área de la piscina en pies cuadrados
$MiscFeature_{i,misc} \in \{0, 1\}$ $misc \in \{Elev, Gar2, Othr, Shed, TenC, Noaplica\}$	Características diversas no cubiertas en otras categorías.
$SaleType_{i,st} \in \{0, 1\}$ $st \in \{WD, CWD, VWD, New, COD, Con, ConLw, ConLI, ConLD, Oth\}$	Tipo de venta.
$SaleCondition_{i,sc} \in \{0, 1\}$ $sc \in \{Normal, Abnorml, AdjLand, Alloca, Family, Partial\}$	Condición de venta.

## 11 Costos

Se presenta la siguiente tabla con los costos de los distintos tipos de estilos, materiales y otros adicionales de la vivienda.

Costo	Descripción
<b>Ampliación</b> $C_{ampliación} = \$106,49$	"Costo de construir una ampliación de vivienda en Ames, Iowa \$106,49 por pie cuadrado para construcción de grado estándar (rango: \$82,28 - \$130,70)". (ProMatcher, 2021).
<b>Demolición</b> $C_{demolición} = \$1,65$	"Antes de comenzar la construcción de su nuevo dormitorio y baño, es necesario despejar completamente el espacio de elementos paisajísticos. El costo de demolición y preparación es de entre \$1.30 y \$2 por pie cuadrado". (Cellucci, 2025).
<b>Utilities: <math>C_u</math></b> $C_{AllPub} = \$31,750$ $C_{NoSewr} = \$39,500$ $C_{NoSeWa} = \$22,000$ $C_{ELO} = \$20,000$	Costos promedios de los servicios públicos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electricity: \$10,000–\$30,000</li> <li>• Gas: \$500–\$3,500</li> <li>• Water (Septic Tank): \$5,000–\$30,000</li> <li>• Water: \$1,000–\$6,000</li> <li>• Sewer: \$1,500–\$11,000</li> </ul> (Big How, 2025).
<b>RoofStyle: <math>C_s</math></b> $C_{Flat} =$ $C_{Gable} =$ $C_{Gambrel} =$ $C_{Hip} =$ $C_{Mansard} =$ $C_{Shed} =$	Costos de los tipos de techo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flat:</li> <li>• Gable:</li> <li>• Gambrel:</li> <li>• Hip:</li> <li>• Mansard:</li> <li>• Shed:</li> </ul>



<b>RoofMatl:</b> $C_m$ $C_{ClyTile} =$ $C_{CompShg} = \$6$ $C_{Membran} =$ $C_{Metal} = \$8.99$ $C_{Roll} = \$3,75$ $C_{Tar\&Grv} = \$5,5$ $C_{WdShake} =$ $C_{WdShngl} = \$6,35$	<p>Costos de los materiales del techo por pie cuadrado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ClyTile: Aquí se refieren a arcilla o teja, entonces para el costo solo se eligió...</li> <li>• CompShg: "El costo promedio de un techo de tejas compuestas es de \$20,000 , con un rango de entre \$15,000 y \$25,000. Los techos compuestos cuestan un promedio de \$4 a \$8 por pie cuadrado. (Home Advisor, 2025).</li> <li>• Membran:</li> <li>• Metal: "Costo de instalación de techos de metal \$899,11 por 100 pies cuadrados (junta alzada, sin necesidad de quitar el techo existente) (Rango: \$778,88 - \$1.019,34)". (Pro Matcher, s.f.).</li> <li>• Roll: "El costo promedio de un techo enrollado es de \$2.00 a \$5.50 por pie cuadrado instalado, o de \$3,200 a \$12,000". (Carlson, 2023).</li> <li>• Tar&amp;Grv: "Un techo de asfalto y grava cuesta entre \$3.50 y \$7.50 por pie cuadrado con instalación, o entre \$4,500 y \$12,600 en promedio". (Carlson, 2023).</li> <li>• WdShake:</li> <li>• WdShngl: "Costo de instalación de techos de tejas de madera \$635,13 por 100 pies cuadrados (calidad estándar, sin necesidad de retirar el existente)". (Pro Matcher, s.f.).</li> </ul>
---	--

<p><b>Exterior1st y Exterior2nd:</b> <math>C_{e_1}, C_{e_2}</math></p> <p> <math>C_{AsbShng} = \\$11,5</math>  <math>C_{AsphShn} = \\$1,5</math>  <math>C_{BrkComm} = \\$1,21</math>  <math>C_{BrkFace} = \\$15</math>  <math>C_{CBlock} =</math>  <math>C_{CemntBd} =</math>  <math>C_{HdBoard} =</math>  <math>C_{ImStucc} =</math>  <math>C_{MetalSd} = \\$5,48</math>  <math>C_{Plywood} =</math>  <math>C_{PreCast} =</math>  <math>C_{Stone} = \\$27,5</math>  <math>C_{Stucco} = \\$12</math>  <math>C_{VinylSd} = \\$7,46</math>  <math>C_{WdSdng} = \\$3,64</math>  <math>C_{WdShing} =</math> </p>	<p>Costos de los materiales del revestimiento exterior de la casa por pie cuadrado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>AsbShng: "El costo promedio de reemplazar el revestimiento de asbesto es de \$19,000 , y la mayoría de los propietarios gastan entre \$16,000 y \$22,000. Los precios pueden variar entre \$8 y \$15 por pie cuadrado". (Angi, 2025). Para este caso, fue difícil encontrar un costo de instalación de este tipo de material, ya que esta cada vez más restringido. "EPA ha anunciado una norma definitiva para prohibir el uso continuo del asbesto crisotilo, la única forma conocida de asbesto que se utiliza actualmente en Estados Unidos o se importa a este país" (W&amp;L Team, 2024).</li> <li>AsphShn: Al haber varios tipos de tejas de asfalto, nos quedaremos con la más común "las tejas dimensionales son las tejas de asfalto más comunes". (Certain-teed, s.f.). \$1.25 – \$1.75 por pie cuadrado.</li> <li>BrkComm: "La instalación completa de un revestimiento de ladrillo cuesta un promedio de \$13 por metro cuadrado , aunque los precios pueden variar entre \$4 y \$22 por metro cuadrado". (Lacombe, 2024).</li> <li>BrkFace: "Revestimiento de ladrillo cara vista, cuesta entre \$12 y \$18 por pie cuadrado instalado". (Carlson, 2025)</li> <li>CBlock:</li> <li>CemntBd:</li> <li>HdBoard:</li> <li>ImStucc:</li> <li>MetalSd: "Costo promedio por pie cuadrado de revestimiento de metal \$2.83–\$8.12". ()</li> <li>Plywood:</li> </ul>
--	--

<b>MasVnrType:</b> $C_t$ $C_{BrkCmn} = \$1,21$ $C_{BrkFace} = \$15$ $C_{CBlock} =$ $C_{None} =$ $C_{Stone} = \$27,5$	<p>Costos del tipo de revestimiento de mampostería en pies cuadrados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BrkCmn: "La instalación completa de un revestimiento de ladrillo cuesta un promedio de \$13 por metro cuadrado , aunque los precios pueden variar entre \$4 y \$22 por metro cuadrado". (Lacoma, 2024).</li> <li>• BrkFace: "Revestimiento de ladrillo cara vista, cuesta entre \$12 y \$18 por pie cuadrado instalado". (Carlson, 2025)</li> <li>• CBlock:</li> <li>• Stone: "Costo promedio por pie cuadrado de revestimiento de piedra \$10 – \$45". (Cramer, 2024).</li> </ul> <p>Supuesto: Se usaran los mismos costos que en la casilla anterior debido a que son los mismos materiales en pies cuadrados solo que se utilizan para distintas partes de la casa, es decir, para el revestimiento de la casa en general y el revestimiento de la mampostería.</p>
---	--

<b>Foundation</b> $C_{BrkTil} =$ $C_{CBlock} = \$12$ $C_{PConc} =$ $C_{Slab} = \$10$ $C_{Stone} =$ $C_{Wood} = \$40$	Costo de cimentación <ul style="list-style-type: none"> <li>• BrkTil:</li> <li>• CBlock: "Tipo de cimentación bloque (cemento o ceniza) promedio por pie cuadrado es de \$9-\$15". (HomeAdvisor, 2025).</li> <li>• PConc:</li> <li>• Slab: "En Estados Unidos, los propietarios de viviendas pagan entre \$6 y \$14 por pie cuadrado por una losa de concreto". (Miller, s.f.).</li> <li>• Stone:</li> <li>• Wood: "El costo promedio de una cimentación de madera es de alrededor de \$40,000 para una casa típica de 1,000 pies cuadrados". (Simms, 2023).</li> </ul>
--	---

<p><b>Heating:</b> <math>C_h</math></p> <p><math>C_{Floor} = \\$1,773</math></p> <p><math>C_{GasA} = \\$5,750</math></p> <p><math>C_{GasW} = \\$8,500</math></p> <p><math>C_{Grav} = \\$6,300</math></p> <p><math>C_{OthW} = \\$4,900</math></p> <p><math>C_{Wall} = \\$3,700</math></p>	<p>Costos de calefacción</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Floor: "Cuánto cuesta instalar un horno de gas para calefacción por suelo radiante? \$1,773 (horno de gas de piso de 35,000 BTU/h - actualización 1)". (HowMuch, s.f.).</li> <li>• GasA: "La mayoría de los propietarios de viviendas en EE. UU. gastan entre \$3,000 y \$8,500 en reemplazar un calefactor de aire forzado a gas sin conductos nuevos". (Langer, 2025).</li> <li>• GasW: "Reemplazar una caldera de gas cuesta entre \$4,000 y \$9,000. Una caldera de gas requiere una línea de gas para su hogar y acceso a tuberías y conductos de ventilación." (Tschudi, 2025). En promedio sería \$8,500 por una caldera de gas estándar.</li> <li>• Grav: "En promedio, reemplazar un horno de gravedad cuesta \$6,300." (Grant, 2025).</li> <li>• OthW: Mencionan que tiene que ser una calefacción distinta a gas, por lo tanto, decidimos que sería con electricidad que es el segundo con mayor porcentaje. (Statista, 2025). "Las calderas eléctricas son las más económicas de reemplazar que otros tipos, con precios desde \$1,800, pero algunos modelos pueden costar \$8,000 o más." (Tschudi, 2025).</li> <li>• Wall: "Total típico \$1,400-\$6,000 para una instalación sencilla de un horno de pared eléctrico o con ventilación directa". (Langer, 2025).</li> </ul>
--	--

<b>CentralAir</b> $C_{CentralAir} = \$5,362$	Costo aire acondicionado "La mayoría de los propietarios pagaron un promedio de \$5,362." (Manta, 2025).
<b>Electrical: <math>C_e</math></b> $C_{SBrkr} =$ $C_{FuseA} =$ $C_{FuseF} =$ $C_{FuseP} =$ $C_{Mix} =$	Costos de sistema electrico <ul style="list-style-type: none"> <li>• SBrkr:</li> <li>• FuseA:</li> <li>• FuseF:</li> <li>• FuseP:</li> <li>• Mix:</li> </ul>
<b>MiscFeature</b> $C_{Elev} = \$48,000$ $C_{Gar2} = \$32,100$ $C_{Shed} = \$5,631$ $C_{TenC} = \$15,774$	Costos de características diversas no cubiertas en otras categorías <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevator: "Costo promedio nacional \$48,000." (Cramer, 2023).</li> <li>• 2nd Garage (if not described in garage section): "El promedio nacional para construir un garaje independiente es de entre \$19,200 y \$45,000, dependiendo del tipo de garaje, los materiales que prefiera, su lugar de residencia y si es necesario demoler un garaje anterior." (Home Go, 2022).</li> <li>• Shed (over 100 SF): "Para 100 pies cuadrados \$4,333 y para 240 pies cuadrados que es lo máximo que ofrece esta página \$6,929." (Shed Crafters, s.f).</li> <li>• Tennis court: "Estas canchas de tenis cuestan un promedio de \$15,774." (Moore, 2023).</li> </ul>
<b>Paved Drive : <math>C_d</math></b> $C_Y =$ $C_P =$ $C_N =$ "El costo por pie cuadrado para terminar un sótano varía entre \$7 y \$23." (Home Advisor, 2025).	Costo de entrada pavimentada <b>Basement</b> $C_{Bsmt} = \$15$

<b>Construcción costos Kitchen</b> <b>Remodelación Kitchen</b> $C_{Ex,r} = \$180,000$ $C_{Gd,r} =$ $C_{TA,r} = \$42,500$ $C_{FA,r} =$ $C_{Po,r} = \$13,000$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ex: "Costo de remodelación de cocina de alta gama. Una remodelación importante de su cocina costará entre \$60,000 y \$300,000". (Billock, 2024).</li> <li>• Gd: Interpolada (Ex/Ta) por falta de información.</li> <li>• TA: "Costo de remodelación de cocina de gama media. Una remodelación moderada cuesta entre \$25,000 y \$60,000". (Billock, 2024).</li> <li>• FA: Interpolada (Ta/Po) por falta de información.</li> <li>• Po: "Costo de remodelación básica de la cocina. Una remodelación menor puede costar entre \$1,000 y \$25,000". (Billock, 2024).</li> </ul>
<b>Construcción HalfBath</b> $C_{halfbath,c} = \$10,000$	"Su tamaño puede variar entre 15 y 25 pies cuadrados. Esto lo convierte en una opción económica y que ahorra espacio, con gastos que suelen oscilar entre \$5,000 y \$15,000". (Block renovation, 2025).
<b>Construcción FullBath</b> $C_{Fullbath,c} = \$25,000$	"Con una superficie típica de entre 40 y 60 pies cuadrados, es una adición versátil que puede servir como baño principal o como baño familiar compartido. El costo de añadir un baño completo suele oscilar entre \$15,000 y \$35,000". (Block renovation, 2025).

<b>Remodelación Bath</b> $C_{Bath,r} = \$650$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Conversión básica/de gama baja: \$250 – \$450 por pie cuadrado". (Cedreo, 2025).</li> <li>• "Ampliación de baño de gama media: \$500 – \$800 por pie cuadrado". (Cedreo, 2025).</li> <li>• "Lujo: \$850 – \$1200+ por pie cuadrado". (Cedreo, 2025).</li> </ul> <p>Para este caso, al no tener una variable que diga la calidad del baño, decidimos quedarnos con el costo de un baño medio.</p>
<b>Bedroom</b>	
<b>Pool: <math>C_p</math></b> $C_{PoolArea} = \$88$ $C_{PoolArea,Ex} = \$135,000$ $C_{PoolArea,Gd} =$ $C_{PoolArea,TA} =$ $C_{PoolArea,Fa} = \$19,000$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "El presupuesto promedio es de \$88 por pie cuadrado para una piscina enterrada" (Loveland, 2025).</li> <li>• Ex: "Una piscina grande, personalizada, con características de lujo y materiales de alta gama podría costar más de \$135,000" (Loveland, 2025).</li> <li>• Gd: INTERPOLAR</li> <li>• TA: INTERPOLAR</li> <li>• Fa: "Una piscina pequeña y básica, hecha con materiales económicos, podría costar tan solo \$19,000" (Loveland, 2025).</li> </ul>

## 12 Bibliografía

<https://homeguide.com/costs/tar-and-gravel-roof-cost?>  
<https://roofing.promatcher.com/cost/>  
<https://homeguide.com/costs/roll-roofing-cost?>  
<https://howmuchdoessidingcost.com/iowa-siding-cost/>



<https://homeguide.com/costs/siding-cost?>  
<https://howmuch.net/costs/hvac-heating-furnace-gas-floor-install>  
<https://kssupply.com/cozy-gas-floor-furnaces/>  
<https://www.homeadvisor.com/cost/basements/>  
<https://www.angi.com/articles/primary-bedroom-bath-cost.htm>  
<https://www.blockrenovation.com/guides/how-much-does-it-cost-to-add-a-bathroom-to-a-house: :text=Un>  
<https://www.angi.com/articles/wood-foundation.htm>  
<https://remoteestimation.us/concrete-slab-foundation-cost/: :text=What>  
<https://www.homeadvisor.com/cost/foundations/install-a-foundation/>  
<https://www.thekitchn.com/average-kitchen-remodel-cost-23636232>  
<https://bighow.com/news/utility-installation-costs-for-new-land?>  
<https://homeguide.com/costs/brick-veneer-cost?>  
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-brick-veneer-cost.htm>  
<https://www.angi.com/articles/stone-siding-cost.htm>  
<https://www.angi.com/articles/cost-to-replace-asbestos-siding.htm>  
<https://www.weitzlux.com/blog/is-asbestos-banned-in-the-us/>  
<https://www.rapidrestoreny.com/blog/roof-replacement/roofing-shingles-prices/>  
<https://www.certainteed.com/inspiration/how-tos/types-asphalt-roofing-shingles: :text=Also>

## References

- Inc., R. S. (2023). *Best roofing types explained: What to choose for your home* [Consultado el 11 de octubre de 2025]. Renoworks Software Inc. <https://www.renoworks.com/design-inspiration/roofing/best-types-explained-what-to-choose/>
- Roof-Crafters. (2024). *Which roofing material is most compatible with your roof style?* [Consultado el 11 de octubre de 2025]. Roof-Crafters LLC. <https://www.roof-crafters.com/learn/which-roofing-material-most-compatible-with-roof-style>
- Wikipedia contributors. (2024). *Flat roof* [Versión revisada en 2024, consultado el 11 de octubre de 2025]. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Flat\\_roof](https://en.wikipedia.org/wiki/Flat_roof)