

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. La ampliación del segundo piso queda como pasos futuros a realizar, ya que implica la impletación de una restricción sobre temas estructurales, como que haya soportes en el primer piso u otras habitaciones que sostengan estructuralmente la ampliación del segundo

piso.

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.

10.

2 Supuestos Construcción

2.1 Calidad de Construcción

Supuesto 1: Todas las construcciones se consideran de calidad excelente por ser de nueva edificación. Las variables de calidad y condición toman su valor máximo porque se asume que el nuevo material está en su mejor estado.

- OverallQual = 10 (Very Excellent)
- OverallCond = 10 (Very Excellent)
- ExterQual = Ex (Excellent)
- ExterCond = Ex (Excellent)
- BsmtQual = Ex (Excellent)
- HeatingQC = Ex (Excellent)
- KitchenQual = Ex (Excellent)

2.2 Exclusividad en Sistemas

Supuesto 2: Solo puede seleccionarse una opción en variables categóricas de sistemas y características estructurales.

- Electrical: Solo un tipo de sistema eléctrico
- Heating: Solo un tipo de sistema de calefacción
- RoofStyle: Solo un estilo de techo
- RoofMatl: Solo un material de techo
- HouseStyle: Solo un estilo de vivienda
- Foundation: Solo un tipo de cimentación

2.3 Completitud de Áreas

Supuesto 3: No existen áreas sin terminar en la construcción. Todas las áreas deben estar completamente finalizadas.

- $\text{BsmtFinType1} \neq \text{Unf}$ (No unfinished basement)
- $\text{BsmtFinType2} \neq \text{Unf}$ (No unfinished basement)
- $\text{BsmtUnfSF} = 0$ (No unfinished basement area)
- $\text{LowQualFinSF} = 0$ (No low quality finished area)
- $\text{HouseStyle} \notin \{1.5\text{Unf}, 2.5\text{Unf}\}$ (No unfinished levels)

2.4 Límite de Pisos

Supuesto 4: Las viviendas pueden tener máximo 2 pisos completos. No se consideran niveles parciales o medios pisos sin terminar.

- $\text{HouseStyle} \in \{1\text{Story}, 2\text{Story}\}$
- $2\text{ndFlrSF} \leq 1\text{stFlrSF}$
- No se permiten estilos con niveles parciales (1.5Fin, 1.5Unf, 2.5Fin, 2.5Unf)

2.5 Parámetros Fijos del Terreno

Supuesto 5: Las características físicas del terreno son parámetros fijos que no pueden modificarse.

- **LotArea:** Parámetro fijo (área total del terreno)
- **LotFrontage:** Parámetro fijo (frente lineal de la propiedad)
- **Street:** Parámetro fijo (tipo de acceso vial)
- **Alley:** Parámetro fijo (tipo de acceso por callejón)
- **LotShape:** Parámetro fijo (forma del terreno)
- **LandContour:** Parámetro fijo (topografía del terreno)
- **LotConfig:** Parámetro fijo (configuración del lote)
- **LandSlope:** Parámetro fijo (pendiente del terreno)

2.5.1 Garaje Opcional pero Estandarizado

Supuesto 6: El garaje es opcional, pero si se construye debe cumplir con estándares mínimos de capacidad, área y acabado.

- Capacidad mínima: 1 vehículo si hay garaje
- Área proporcional: 150-250 ft² por vehículo
- Acabado completo: Todos los garajes deben estar terminados

2.5.2 Capacidad de Calefacción de Chimeneas

Supuesto 7: Cada chimenea tiene una capacidad de calefacción de 900 pies cuadrados de área habitable.

- Una chimenea estándar puede calentar efectivamente hasta 900 ft²
- El área habitable considera solo pisos sobre nivel: $1stFlrSF + 2ndFlrSF$
- El número máximo de chimeneas está limitado por: $\lceil \frac{1stFlrSF + 2ndFlrSF}{900} \rceil$

2.5.3 Límites Proporcionales al Terreno

Supuesto 8: Los límites de construcción se basan en proporciones del área total del terreno (LotArea).

- **Área construida:** Máximo 80% del terreno para área habitable
- **Pisos:** Primer piso máximo 60%, segundo piso máximo 50% del terreno
- **Sótano:** Máximo 50% del área del terreno
- **Garaje:** Máximo 20% del terreno
- **Piscina y porches:** Entre 5-15% del terreno según tipo

2.5.4 Área Mínima para Deck de Madera

Supuesto 9: Si se construye un deck de madera, debe tener un área mínima de 40 ft² para ser funcional, con funcional nos referimos a que pueda caer una mesa y al menos 4 sillas.

- Área mínima: 40 ft² (approx. 2m x 2m) para mobiliario básico
- Área máxima: 15% del terreno para mantener espacio útil en patio
- Opcional: La vivienda puede o no tener deck de madera

2.6 Forma geométrica de la vivienda

La forma del primer y segundo piso será rectangular

2.7 Utilities

Se considerará que la vivienda construida tendrá todas las utilities (All Public Utilities)

3 Función objetivo Renovación

- Parámetros:

- V_i^{init} = valor inicial de la propiedad i $\forall i \in \mathcal{I}$
- V_i^{post} = valor post-remodelación de la propiedad i $\forall i \in \mathcal{I}$

- Función objetivo:

$$\text{Max } \Pi = V_i^{\text{post}} - V_i^{\text{init}} - C_{\text{Total}}.$$

Donde:

$C_{\text{Total}} =$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\sum_{\substack{u \in \mathcal{U}_i^+ \\ u \neq u_i^{\text{base}}}} C_u \text{Utilities}_{i,u}}_{\text{costo de nueva utility}} + \underbrace{C_{\text{demolición}}^{\text{Roof}} \sum_{\substack{m \in \mathcal{M}_i^+ \\ m \neq m_i^{\text{base}}}} y_{i,m}}_{\text{demolición Roof}} + \underbrace{\sum_{\substack{m \in \mathcal{M}_i^+ \\ m \neq m_i^{\text{base}}}} C_m y_{i,m}}_{\text{costo del nuevo material Roof}} \\ & + \left[\underbrace{C_{(e_1)_i^{\text{base}}}^{(1)} (\text{UpgMat}_i - \text{Change1}_i)}_{\text{reconstruir material base 1}} + \underbrace{\sum_{\substack{e_1 \in \mathcal{E} \\ e_1 \neq (e_1)_i^{\text{base}}}} C_{e_1}^{(1)} \text{Exterior1st}_{i,e_1}}_{\text{cambiar a material más caro 1}} \right] \\ & + \underbrace{\text{Has2}_i \left(C_{(e_2)_i^{\text{base}}}^{(2)} (\text{UpgMat}_i - \text{Change2}_i) + \sum_{\substack{e_2 \in \mathcal{E} \\ e_2 \neq (e_2)_i^{\text{base}}}} C_{e_2}^{(2)} \text{Exterior2nd}_{i,e_2} \right)}_{\text{Exterior 2 (si existe)}} \\ & + \underbrace{\sum_{\substack{eq \in \mathcal{Q} \\ \text{BaseQual}_{i,eq}=0}} C_{eq}^Q \text{ExterQualSel}_{i,eq} + \sum_{\substack{ec \in \mathcal{C} \\ \text{BaseCond}_{i,ec}=0}} C_{ec}^C \text{ExterCondSel}_{i,ec}}_{\text{mejorar calidad/condición Exterior 1 y Exterior 2}} \\ & + \underbrace{\sum_{\substack{t \in \mathcal{T}_i^+ \\ t \neq t_i^{\text{base}}}} (C_t \cdot \text{MasVnrArea}_i) \text{MasVnrType}_{i,t}}_{\text{cambiar MasVnrArea o construirlo si no hay}} + \underbrace{\sum_{\substack{e \in \mathcal{E}_i^+ \\ e \neq e_i^{\text{base}}}} C_e \text{Electrical}_{i,e}}_{\text{costo del nuevo tipo Electrical}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}: a_i^{\text{base}} = \text{No}} C_{\text{CentralAir}} \cdot \text{CentralAir}_{i, \text{Yes}}}_{\text{Costo de incluir CentralAir}} \\
& + \underbrace{C_{h_i^{\text{base}}} (\text{UpgType}_i - \text{ChangeType}_i)}_{\text{reconstruir mismo tipo Heating}} + \underbrace{\sum_{h \in \mathcal{H}_i^+} C_h M_{i,h}^H \text{Heating}_{i,h}}_{\text{cambiar a tipo más caro de Heating}} + \underbrace{\sum_{q \in \mathcal{Q}_i^+} C_{hq} M_{i,q}^{QC} \text{HeatingQC}_{i,q}}_{\text{cambiar calidad Heating}} \\
& + \underbrace{\sum_{\substack{k \in \mathcal{K}_{i, \text{allow}} \\ k \neq k_i^{\text{base}}}} C_k \text{KitchenQual}_{i,k}}_{\text{cambiar calidad cocina}} + \underbrace{C_{\text{Bsmt}} (x_i^{(1)} + x_i^{(2)})}_{\text{terminar el sótano}} + \underbrace{\sum_{\substack{b \in \mathcal{B}_{i, \text{allow}} \\ b \neq b_i^{\text{base}}}} C_b \text{BsmtCond}_{i,b}}_{\text{cambiar calidad sótano}} \\
& + \underbrace{\sum_{b_1 \in \mathcal{B}} C_{\text{BstmType}} M_{i,b}^{B1} \text{BsmtFinType1}_{i,b}}_{\text{Costo por mejora en BsmtFinType1}} + \underbrace{\text{HasB2}_i \sum_{b_2 \in \mathcal{B}} C_{\text{BstmType}} M_{i,b}^{B2} \text{BsmtFinType2}_{i,b}}_{\text{Costo por mejora en BsmtFinType2 (si existe)}} \\
& + \underbrace{\sum_{\substack{f \in \mathcal{F}_{i, \text{allow}} \\ f \neq f_i^{\text{base}}}} C_f \text{FireplaceQu}_{i,f}}_{\text{Costo por mejorar Chimenea}} + \underbrace{\sum_{\substack{f \in \mathcal{F}_{i, \text{allow}} \\ f \neq f_i^{\text{base}}}} C_{\text{Fence}, f} \text{Fence}_{i,f}}_{\text{Costo por mejorar Fence}} \\
& + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}: f_i^{\text{base}} = \text{NA}} C_{\text{Fence}} \cdot \text{LotFrontage}_i \cdot (\text{Fence}_{i, \text{MnPrv}} + \text{Fence}_{i, \text{GdPrv}})}_{\text{Costo por construir Fence}} + \underbrace{\sum_{\substack{d \in \mathcal{D}_{i, \text{allow}} \\ d \neq d_i^{\text{base}}}} C_d \text{PavedDrive}_{i,d}}_{\text{Costo por construir PavedDrive}} \\
& + \underbrace{\sum_{g \in \mathcal{G}_{i, \text{allow}}^Q} C_g M_{i,g}^Q \text{GarageQual}_{i,g}}_{\text{Costo por mejorar Calidad Garage}} + \underbrace{\sum_{g \in \mathcal{G}_{i, \text{allow}}^C} C_g M_{i,g}^C \text{GarageCond}_{i,g}}_{\text{Costo por mejorar Condición Garage}} \\
& + \underbrace{C_{\text{construccion}} \left(A^{\text{Full}} \text{AddFull}_i + A^{\text{Half}} \text{AddHalf}_i + A^{\text{Kitch}} \text{AddKitch}_i + A^{\text{Bed}} \text{AddBed}_i \right)}_{\text{(costo por construir habitación en particular)}} \\
& + \underbrace{\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)}_{\text{costo por ampliación}} + \underbrace{\sum_{\substack{p \in \mathcal{P}_{i, \text{allow}} \\ p \neq p_i^{\text{base}}}} C_p \text{PoolQC}_{i,p}}_{\text{costo por mejorar la piscina}} + \underbrace{\sum_{ga \in \mathcal{G}a} C_{\text{GFin}} M_{i,ga}^{Ga} \text{gar}_{i,ga}}_{\text{costo por terminar el Garage}}
\end{aligned}$$

4 Restricciones renovación

- Utilities: Se puede cambiar a alternativas que sean de costo mayor o mantenerse. El costo de construcción de una nueva Utilitie considera la destrucción del anterior.

- 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:

$$\text{CostoUtilities} = \underbrace{\sum_{\substack{u \in \mathcal{U}_i^+ \\ u \neq u_i^{\text{base}}}} C_u}_{\text{costo de la nueva utility}} Utilities_{i,u}.$$

- 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:

$$C_m \quad \forall m \in m.$$

- 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 $A_{s,m}$:

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

- Parámetro de costo de demolición grande:

$$C_{\text{demolición}}^{\text{Roof}} \geq 0.$$

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

$$\text{CostoRoof} = \underbrace{C_{\text{demolición}}^{\text{Roof}} \sum_{\substack{m \in \mathcal{M}_i^+ \\ m \neq m_i^{\text{base}}}} y_{i,m}}_{\text{demolición Roof}} + \underbrace{\sum_{\substack{m \in \mathcal{M}_i^+ \\ m \neq m_i^{\text{base}}}} C_m y_{i,m}}_{\text{costo del nuevo material}}$$

- Exterior1st, Exterior2nd, ExterQual, ExterCond: Si la calidad o condición del material exterior presenta un índice de Average/Typical o inferior, entonces se pueden seguir dos caminos. El primero es que el material del Exterior1st y el Exterior2nd pueden mantenerse reconstruyendo cada uno denuevo o reemplazarse por otro de costo superior al actual. Exterior2nd solo aplica si existe un segundo material en la casa. El segundo es que ExterQual y ExterCond puedan cambiar aumentando su calidad y condición respectivamente.

- Materiales:

$$\mathcal{E} = \{\text{AsbShng, AsphShn, BrkComm, BrkFace, CBlock, CemntBd, HdBoard, ImStucc, MetalSd, Other, Plywood, PreCast, Stone, Stucco, VinylSd, WdSdng, WdShng}\}.$$

- Parámetros de costos de materiales:

$$C_e^{(1)} \forall e \in \mathcal{E}, \quad C_e^{(2)} \forall e \in \mathcal{E}.$$

- Parámetros de costos de calidad/condición:

$$\mathcal{Q} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po}\}, \quad \mathcal{C} = \{\text{Ex, Gd, TA, Fa, Po}\},$$

$$C_{eq}^Q \forall eq \in \mathcal{Q}, \quad C_{ec}^C \forall ec \in \mathcal{C}.$$

- Costos de demolición por frente (aplican sólo si se toma el camino material):

$$C_1^{dem} \geq 0, \quad C_2^{dem} \geq 0.$$

- Parámetros base:

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

$$BaseQual_{i,eq} \in \{0, 1\}, \quad \sum_{eq \in \mathcal{Q}} BaseQual_{i,eq} = 1, \quad BaseCond_{i,ec} \in \{0, 1\}, \quad \sum_{ec \in \mathcal{C}} BaseCond_{i,ec} = 1,$$

$$Has2_i \in \{0, 1\}.$$

- Subconjuntos “Average o peor”:

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

- Parámetros costos base:

$$C_i^{Q,base} = \sum_{eq} C_{eq}^Q BaseQual_{i,eq}, \quad C_i^{C,base} = \sum_{ec} C_{ec}^C BaseCond_{i,ec}.$$

- Selección final de materiales:

$$Exterior1st_{i,e_1} \in \{0, 1\} \forall e_1 \in \mathcal{E}, \quad \sum_{e_1} Exterior1st_{i,e_1} = 1,$$

$$Exterior2nd_{i,e_2} \in \{0,1\} \ \forall e_2 \in \mathcal{E}, \quad \sum_{e_2} Exterior2nd_{i,e_2} = Has2_i.$$

- Variables finales de calidad y condición:

$$ExterQualSel_{i,eq} \in \{0,1\}, \quad \sum_{eq} ExterQualSel_{i,eq} = 1,$$

$$ExterCondSel_{i,ec} \in \{0,1\}, \quad \sum_{ec} ExterCondSel_{i,ec} = 1.$$

- Binarias de caminos y elegibilidad:

$$UpgMat_i, UpgQC_i, Eligible_i \in \{0,1\}.$$

- Detección de cambio de material:

$$Change1_i, Change2_i \in \{0,1\}.$$

-Activación binarias:

$$Eligible_i \geq \sum_{eq \in \mathcal{Q} \leq Av} BaseQual_{i,eq}, \quad Eligible_i \geq \sum_{ec \in \mathcal{C} \leq Av} BaseCond_{i,ec},$$

$$Eligible_i \leq \sum_{eq \in \mathcal{Q} \leq Av} BaseQual_{i,eq} + \sum_{ec \in \mathcal{C} \leq Av} BaseCond_{i,ec}.$$

-Restricción de caminos excluyentes:

$$UpgMat_i + UpgQC_i \leq Eligible_i.$$

-Restricción de que no empeora calidad ni condición:

$$Exterior1st_{i,e_1} = 0 \ \forall e_1 : C_{e_1}^{(1)} < C_{(e_1)_i}^{(1)base},$$

$$Exterior2nd_{i,e_2} = 0 \ \forall e_2 : C_{e_2}^{(2)} < C_{(e_2)_i}^{(2)base},$$

$$ExterQualSel_{i,eq} = 0 \ \forall eq : C_{eq}^Q < C_i^{Q,base}, \quad ExterCondSel_{i,ec} = 0 \ \forall ec : C_{ec}^C < C_i^{C,base}.$$

-Restricciones material sólo cambia si se toma el camino material:

$$\sum_{\substack{e_1 \in \mathcal{E} \\ e_1 \neq (e_1)_i^{base}}} Exterior1st_{i,e_1} \leq UpgMat_i,$$

$$\sum_{\substack{e_2 \in \mathcal{E} \\ e_2 \neq (e_2)_i^{base}}} Exterior2nd_{i,e_2} \leq UpgMat_i \cdot Has2_i.$$

$$\sum_{\substack{eq \in \mathcal{Q} \\ BaseQual_{i,eq}=0}} ExterQualSel_{i,eq} \leq UpgQC_i,$$

$$\sum_{\substack{ec \in \mathcal{C} \\ BaseCond_{i,ec}=0}} ExterCondSel_{i,ec} \leq UpgQC_i.$$

-Restricciones de exclusion:

$$\sum_{\substack{eq \in \mathcal{Q} \\ BaseQual_{i,eq}=0}} ExterQualSel_{i,eq} \leq 1 - UpgMat_i,$$

$$\sum_{\substack{ec \in \mathcal{C} \\ BaseCond_{i,ec}=0}} ExterCondSel_{i,ec} \leq 1 - UpgMat_i,$$

$$\sum_{\substack{e_1 \in \mathcal{E} \\ e_1 \neq (e_1)_i^{base}}} Exterior1st_{i,e_1} \leq 1 - UpgQC_i,$$

$$\sum_{\substack{e_2 \in \mathcal{E} \\ e_2 \neq (e_2)_i^{base}}} Exterior2nd_{i,e_2} \leq (1 - UpgQC_i) \cdot Has2_i.$$

-Restricciones de cambio de material:

$$Change1_i \geq Exterior1st_{i,e_1} \quad \forall e_1 \neq (e_1)_i^{base}, \quad Change1_i \leq \sum_{\substack{e_1 \in \mathcal{E} \\ e_1 \neq (e_1)_i^{base}}} Exterior1st_{i,e_1},$$

$$Change2_i \geq Exterior2nd_{i,e_2} \quad \forall e_2 \neq (e_2)_i^{base}, \quad Change2_i \leq \sum_{\substack{e_2 \in \mathcal{E} \\ e_2 \neq (e_2)_i^{base}}} Exterior2nd_{i,e_2}.$$

-Si se realiza el cambio se incurre en un costo, donde la construcción del nuevo material incluye el costo de demolición, en la FO agregar:

CostoMaterialExterior=

$$\begin{aligned}
& \left[\underbrace{C_{(e_1)_i^{base}}^{(1)} (UpgMat_i - Change1_i)}_{\text{reconstruir material base 1}} \right. \\
& + \underbrace{\sum_{\substack{e_1 \in \mathcal{E} \\ e_1 \neq (e_1)_i^{base}}} C_{e_1}^{(1)} Exterior1st_{i,e_1}}_{\text{cambiar a material más caro 1}} \\
& + \underbrace{Has2_i \left(C_{(e_2)_i^{base}}^{(2)} (UpgMat_i - Change2_i) + \sum_{\substack{e_2 \in \mathcal{E} \\ e_2 \neq (e_2)_i^{base}}} C_{e_2}^{(2)} Exterior2nd_{i,e_2} \right)}_{\text{frente 2 sólo si existe}} \\
& \left. + \underbrace{\sum_{\substack{eq \in \mathcal{Q} \\ BaseQual_{i,eq}=0}} C_{eq}^Q ExterQualSel_{i,eq} + \sum_{\substack{ec \in \mathcal{C} \\ BaseCond_{i,ec}=0}} C_{ec}^C ExterCondSel_{i,ec}}_{\text{mejorar calidad/condición}} \right].
\end{aligned}$$

- MasVnrType: Se puede cambiar a alternativas de mayor costo o mantenerse. Si la tipología base es None, también se permite *construir* una tipología distinta a None pagando su costo por pie cuadrado multiplicado por el área de revestimiento.
- Parámetro de tipo original:

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

- Costo por tipo (por ft²):

$$C_t \quad \forall t \in \{BrkCmn, BrkFace, CBlock, None, Stone\}.$$

- Área de revestimiento a considerar (ft²):

$$MasVnrArea_i \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conjunto permitido (quedarse o subir):

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

- Variables de decisión:

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

- Selección única:

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

- Si se realiza el cambio (o se construye desde None) se incurre en un costo proporcional al área. En la FO agregar:

$$CostoMasVnr = \sum_{\substack{t \in \mathcal{T}_i^+ \\ t \neq t_i^{base}}} \left(C_t \cdot MasVnrArea_i \right) MasVnrType_{i,t}.$$

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

-Conjunto:

$$\mathcal{E} = \{SBrkr, FuseA, FuseF, FuseP, Mix\}.$$

- Parámetro de tipo eléctrico original:

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

- Parámetro de costo por tipo eléctrico:

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

- Definición de conjunto permitido:

$$\mathcal{E}_i^+ = \{e \in \mathcal{E} : C_e \geq C_{e_i^{base}}\}.$$

- 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, donde el costo de construcción incluye el costo de demolición, en la FO agregar:

$$CostoElectrical = \underbrace{\sum_{\substack{e \in \mathcal{E}_i^+ \\ e \neq e_i^{base}}} C_e Electrical_{i,e}}_{\text{costo del nuevo tipo eléctrico}}$$

- 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:

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

- Heating y Heating QC: Si HeatingQC es *Average/Typical* o peor, entonces pueden decidirse dos caminos. El primero es que el tipo de *Heating* puede mantenerse construyéndolo de nuevo o cambiarse a uno de mayor costo que el actual. El segundo, es que HeatingQC puede cambiar aumentando su calidad a una mejor.

- Tipos de Heating:

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

- Calidades de HeatingQC:

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

- Parámetros de costos:

$$C_h \quad \forall h \in \mathcal{H}, \quad C_{hqc} \quad \forall hqc \in \mathcal{Q}, \quad C_{\text{destrucción}} \geq 0.$$

- Parámetros de tipo base y calidad base:

$$h_i^{\text{base}} \in \mathcal{H}, \quad BaseQC_{i,q} \in \{0,1\}, \quad \sum_{q \in \mathcal{Q}} BaseQC_{i,q} = 1.$$

- Conjuntos “no empeorar” respecto a la base:

$$\mathcal{H}_i^+ = \{ h \in \mathcal{H} : C_h \geq C_{h_i^{\text{base}}} \}, \quad \mathcal{Q}_i^+ = \{ q \in \mathcal{Q} : C_q \geq \sum_{q' \in \mathcal{Q}} C_{q'} BaseQC_{i,q'} \}.$$

- Parámetros máscara (para identificar opciones distintas del tipo o calidad base):

$$M_{i,h}^H = \begin{cases} 1, & \text{si } h \neq h_i^{\text{base}}, \\ 0, & \text{si } h = h_i^{\text{base}}, \end{cases} \quad M_{i,q}^{QC} = 1 - BaseQC_{i,q}.$$

- Variables de decisión:

$$Heating_{i,h} \in \{0,1\} \quad \forall h \in \mathcal{H}_i^+, \quad \sum_{h \in \mathcal{H}_i^+} Heating_{i,h} = 1,$$

$$HeatingQC_{i,q} \in \{0,1\} \quad \forall q \in \mathcal{Q}_i^+, \quad \sum_{q \in \mathcal{Q}_i^+} HeatingQC_{i,q} = 1.$$

- Binarias de *caminos* (excluyentes) y elegibilidad:

$$UpgType_i, UpgQC_i, Eligible_i \in \{0,1\} \quad \forall i.$$

- Binaria auxiliar para detectar cambio de tipo:

$$ChangeType_i \in \{0,1\} \quad \forall i.$$

- Activación binaria:

$$Eligible_i \geq \sum_{q \in \mathcal{Q}^{\leq Av}} BaseQC_{i,q}, \quad Eligible_i \leq \sum_{q \in \mathcal{Q}^{\leq Av}} BaseQC_{i,q}.$$

$$UpgType_i + UpgQC_i \leq Eligible_i.$$

- Cambio de tipo o calidad sólo si se toma el camino correspondiente:

$$\sum_{h \in \mathcal{H}_i^+} M_{i,h}^H Heating_{i,h} \leq UpgType_i,$$

$$\sum_{q \in \mathcal{Q}_i^+} M_{i,q}^{QC} HeatingQC_{i,q} \leq UpgQC_i.$$

- Exclusión de caminos simultáneos:

$$\sum_{q \in \mathcal{Q}_i^+} M_{i,q}^{QC} HeatingQC_{i,q} \leq 1 - UpgType_i,$$

$$\sum_{h \in \mathcal{H}_i^+} M_{i,h}^H Heating_{i,h} \leq 1 - UpgQC_i.$$

- Definición exacta de cambio de tipo:

$$ChangeType_i = \sum_{h \in \mathcal{H}_i^+} M_{i,h}^H Heating_{i,h}.$$

- Si se realiza el cambio se incurre en un costo, donde el costo de construcción incluye el costo de demolición, en la FO agregar:

$$\begin{aligned} \text{CostoHeating} = & \underbrace{C_{h_i^{\text{base}}} (UpgType_i - ChangeType_i)}_{\text{reconstruir mismo tipo}} \\ & + \underbrace{\sum_{h \in \mathcal{H}_i^+} C_h M_{i,h}^H Heating_{i,h}}_{\text{cambiar a tipo más caro}} \\ & + \underbrace{\sum_{q \in \mathcal{Q}_i^+} C_{hq} M_{i,q}^{QC} HeatingQC_{i,q}}_{\text{cambiar calidad}} \end{aligned}$$

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

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

- Parámetro de costo:

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

- Parámetro de categoría base por ítem:

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

- Subconjunto “Average/Typical o peor”:

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

- 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:

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

- 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:

$$(BsmtFinSF1)_i^{base} \in \mathbb{Z}_{\geq 0},$$

$$(BsmtFinSF2)_i^{base} \in \mathbb{Z}_{\geq 0},$$

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

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

con

$$(TotalBsmtSF)_i^{base} = (BsmtFinSF1)_i^{base} + (BsmtFinSF2)_i^{base} + (BsmtUnfSF)_i^{base} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Variables de decisión:

$$BsmtFinSF1_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}, BsmtFinSF2_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \quad BsmtUnfSF_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- 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:

$$BsmtFinSF1_i + BsmtFinSF2_i + BsmtUnfSF_i = (TotalBsmtSF)_i^{base} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Todo o nada sobre el área sin terminar:

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

- Definición de las zonas terminadas mediante la transferencia:

$$BsmtFinSF1_i = (BsmtFinSF1)_i^{base} + x_i^{(1)}, \quad BsmtFinSF2_i = (BsmtFinSF2)_i^{base} + x_i^{(2)} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

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

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

- Si se termina de construir el sótano se incurre en un costo por pie cuadrado construido (C_{Bsmt}), en la FO agregar:

$$CostoTerminarBsmt = C_{Bsmt} (x_i^{(1)} + x_i^{(2)}).$$

- 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:

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

- Parámetro de costo:

$$C_{BsmtCond} \quad \forall b \in \mathcal{B}.$$

- Parámetro de categoría base por ítem:

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

- Subconjunto “Average/Typical o peor”:

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

- Variables binarias de estado de condición:

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

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

- Variable de activación de mejora:

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

- Restricciones de activación:

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

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

- Definición de conjunto permitido dependiente de $UpdBsmCond_i$:

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

- Variables binarias prefiltradas:

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

- Selección única dentro del conjunto permitido:

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

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

$$\text{CostoBsmtCond} = \sum_{\substack{b \in \mathcal{B}_{i,\text{allow}} \\ b \neq b_i^{\text{base}}}} C_{BsmCond} BsmCond_{i,b},$$

- 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 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”:

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

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

$$C_{\text{BstmType}} \quad \forall b \in \mathcal{B}.$$

- 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 binarias:

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

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

- Binarias de activación:

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

- Activación de binarias:

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

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

- Máscaras para excluir categorías base (1 si $b \neq b_{\text{base}}$):

$$M_{i,b}^{B1} = 1 - \text{BaseB1}_{i,b}, \quad M_{i,b}^{B2} = 1 - \text{BaseB2}_{i,b}.$$

- Conjuntos permitidos para BsmtFinType1 y BsmtFinType2:

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

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

- Restricciones de selección única:

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

- Restricciones de mejora (sólo si la base está en Rec o peor):

$$\sum_{b_1 \in \mathcal{B}} M_{i,b_1}^{B1} BsmtFinType1_{i,b_1} \leq UpgB1_i,$$

$$\sum_{b_2 \in \mathcal{B}} M_{i,b_2}^{B2} BsmtFinType2_{i,b_2} \leq UpgB2_i \cdot HasB2_i.$$

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

$$\begin{aligned} \text{CostoBsmtType} = & \underbrace{\sum_{b_1 \in \mathcal{B}} C_{BsmtType} M_{i,b_1}^{B1} BsmtFinType1_{i,b_1}}_{\text{Costo por mejora en BsmtFinType1}} \\ & + \underbrace{HasB2_i \sum_{b_2 \in \mathcal{B}} C_{BsmtType} M_{i,b_2}^{B2} BsmtFinType2_{i,b_2}}_{\text{Costo por mejora en BsmtFinType2 (si existe)}} \end{aligned}$$

- 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^{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:

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

- 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 LotFrontage_i .

- Conjunto de categorías:

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

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

$$C_{\text{Fence},f} \quad \forall f \in \mathcal{F}.$$

- Costo de construcción por pie cuadrado:

$$C_{\text{Fence}}$$

- Parámetro de largo del frontis de la casa:

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

- Categoría base:

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

- Conjunto permitido dependiente de f_i^{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:

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

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

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

- 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:

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

- 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 $C_{\text{NA}} = 0$):

$$C_g \quad \forall g \in \mathcal{G} \quad (\text{GarageQual}) = C_g \quad \forall g \in \mathcal{G} \quad (\text{GarageCond}).$$

- Parámetros de costos base (para “no empeorar”):

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

- Parámetros base (one-hot):

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

- Variables de decisión:

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

- Variable de activación:

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

- Restricciones de activación:

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

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

- Máscaras (parámetros):

$$M_{i,g}^Q := 1 - BaseGQual_{i,g}, \quad M_{i,g}^C := 1 - BaseGCond_{i,g}.$$

- Conjuntos permitidos (no empeorar respecto al costo base):

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

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

- Restringir a conjuntos permitidos y selección única:

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

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

- Cambio sólo si corresponde:

$$\sum_{g \in \mathcal{G}} M_{i,g}^Q GarageQual_{i,g} \leq UpdGar_i, \quad \sum_{g \in \mathcal{G}} M_{i,g}^C GarageCond_{i,g} \leq UpdGar_i.$$

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

$$CostoGarCyQ = \sum_{g \in \mathcal{G}_{i,allow}^Q} C_g M_{i,g}^Q GarageQual_{i,g} + \sum_{g \in \mathcal{G}_{i,allow}^C} C_g M_{i,g}^C GarageCond_{i,g}$$

- 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:

$$\begin{aligned}
(LotArea)_i &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(1stFlrSF)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(GarageArea)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(WoodDeckSF)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(OpenPorchSF)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(EnclosedPorch)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(3SsnPorch)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(ScreenPorch)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \\
(PoolArea)_i^{base} &\in \mathbb{Z}_{\geq 0}.
\end{aligned}$$

- Área libre *base* (parámetro calculado):

$$\begin{aligned}
(AreaLibre)_i^{base} = (LotArea)_i - &\left[(1stFlrSF)_i^{base} + (GarageArea)_i^{base} + (WoodDeckSF)_i^{base} \right. \\
&+ (OpenPorchSF)_i^{base} + (EnclosedPorch)_i^{base} + (3SsnPorch)_i^{base} \\
&\left. + (ScreenPorch)_i^{base} + (PoolArea)_i^{base} \right].
\end{aligned}$$

- Superficies fijas de los agregados (ft²):

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

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

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

$c \in \mathcal{C} = \{GarageArea, WoodDeckSF, OpenPorchSF, EnclosedPorch, 3SsnPorch, ScreenPorch, PoolArea\}$.
 $\lfloor \cdot \rfloor$ 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:

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

- Variables de áreas finales post ampliación:

$$(1stFlrSF)_i, (GarageArea)_i, (WoodDeckSF)_i, (OpenPorchSF)_i, (EnclosedPorch)_i, \\ (3SsnPorch)_i, (ScreenPorch)_i, (PoolArea)_i, (AreaLibre)_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}.$$

- 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:

$$(1stFlrSF)_i = (1stFlrSF)_i^{base} + A^{Kitch} (AddKitch)_i + A^{Bed} (AddBed)_i \\ + A^{Full} (AddFull)_i + A^{Half} (AddHalf)_i.$$

$$FullBath_i = (FullBath)_i^{base} + AddFull_i, \quad HalfBath_i = (HalfBath)_i^{base} + AddHalf_i, \\ Bedroom_i = (Bedroom)_i^{base} + AddBed_i, \quad Kitchen_i = (Kitchen)_i^{base} + AddKitch_i.$$

- 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 amplia si no hay suficiente espacio:

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

$$AreaLibre_i \geq 0.$$

- Si se realiza una construcción se incurre en un costo por f^2 , en la FO agregar:

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

-Si se realiza una ampliación se incurre en un costo por por ampliaciones porcentuales, en la FO agregar:

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

- 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:

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

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

$$C_{GFin} \quad \forall GFin \in \mathcal{Ga}.$$

- Categoría base (one-hot desde datos):

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

- Máscara (parámetro) para excluir la base:

$$M_{i,ga}^{Ga} := 1 - BaseGa_{i,ga}.$$

- Variables de decisión y selección única:

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

- Variable de activación:

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

- Restricciones de activación:

$$UpgGa_i \geq BaseGa_{i,\text{RFn}}, \quad UpgGa_i \geq BaseGa_{i,\text{Unf}},$$

$$UpgGa_i \leq BaseGa_{i,\text{RFn}} + BaseGa_{i,\text{Unf}} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

- Conjuntos permitidos / fijaciones (implementadas con restricciones lineales):

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

$$\sum_{ga \in \mathcal{G}_a} M_{i,ga}^{Ga} gar_{i,ga} \leq UpgGa_i \quad (\text{sólo cambia si RFn/Unf}).$$

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

$$\text{CostoGaFin} = \sum_{ga \in \mathcal{G}_a} C_{GFin} M_{i,ga}^{Ga} gar_{i,ga}.$$

- Restricción de presupuesto:
-Se define un parámetro P como el presupuesto inicial máximo disponible para la remodelación.

$$P \geq 0.$$

-Restricción que los costos no pueden sobrepasar el presupuesto inicial:

$$C_{Total} \leq P.$$

5 Función objetivo

$$\max \Pi = V_i^{post} - C_i^{Total} \quad (1)$$

V_i^{post} : Valor post-construcción de la propiedad i.

$$C_i^{Total} = C_i^{build} + C_i^{techo} + C_i^{Pool} + C_i^{Paved} + C_i^{Reja} + C_i^{Heating} + C_i^{CentrailAir} + C_i^{Electrical} + C_i^{Bedroom} + C_i^{Bath} + C_i^{Garage} + C_i^{Porch} + C_i^{FirePlaces} + C_i^{Kitchen} + C_i^{Ext} + C_i^{Mamp}$$

6 Restricciones de Construcción

6.1 Dominios

$$Bedroom_i, FullBath_i, HalfBath_i, Kitchen_i, GarageCars_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad (2)$$

$$HasBasement_i, HasGarage_i, Floor2_i, HasPool_i, HasWoodDeck_i \in \{0, 1\} \quad (3)$$

6.2 Restricciones de Área y Dimensiones

6.2.1 Límites por Terreno

$$1stFlrSF_i + TotalPorchSF_i + AreaPool_i + WoodDeckSF_i + GarageArea_i \leq LotArea_i, \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (4)$$

$$2ndFlrSF_i \leq 1stFlrSF_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (5)$$

$$Costo_i^{Total} \leq P_i$$

6.2.2 Consistencias de Área

$$TotalBsmtSF_i = BsmtFinSF1_i + BsmtFinSF2_i, \forall i \in \mathcal{I} \quad (6)$$

$$GrLivArea_i = 1stFlrSF_i + 2ndFlrSF_i, \forall i \in \mathcal{I} \quad (7)$$

$$TotalArea_i = 1stFlrSF_i + 2ndFlrSF_i + TotalBsmtSF_i, \forall i \in \mathcal{I} \quad (8)$$

6.2.3 Piscina Condicionada a Espacio

Variables:

- $HasPool_i \in \{0, 1\}$: 1 si tiene piscina,

$$AreaPool_i \leq \left(LotArea_i - 1stFlrSF_i - GarageArea_i - WoodDeckSF_i - OpenPorchSF_i - EnclosedPorch_i - ScreenPorch_i - 3SsnPorch_i \right) \cdot HasPool_i,$$

$$\begin{aligned} AreaPool_i &\leq 0.1 \cdot LotArea_i \cdot HasPool_i, \\ AreaPool_i &\geq 160 \cdot HasPool_i, \\ AreaPool_i &\geq 0 \end{aligned}$$

[NAHB(2023)] National Association of Home Builders. (2023). *Residential Pools and Spas Design Considerations*. NAHB Remodeling Guidelines.

$$C_i^{Pool} = AreaPool_i \cdot C_{Pool,Ex} \quad (9)$$

$$(10)$$

6.3 Restricciones de Ambientes

6.3.1 Variables de Área por Ambiente

Variables:

- $AreaKitchen_i \in \mathbb{Z}^+$: Área total de cocina(s) (ft²)
- $AreaFullBath_i \in \mathbb{Z}^+$: Área total de baños completos (ft²)
- $AreaHalfBath_i \in \mathbb{Z}^+$: Área total de medios baños (ft²)
- $AreaBedroom_i \in \mathbb{Z}^+$: Área total de dormitorios (ft²)

6.3.2 Áreas Mínimas por Ambiente

Incluir estas variables de decisión en variables construcción:

$$\text{AreaKitchen}_i \geq 75$$

$A_{min}^{kit} = 75$ representa una condición funcional típica para una cocina de calidad excelente (*Ex*), coherente con el estándar de construcción asumido en el proyecto. De acuerdo con el *International Residential Code* (IRC, sección R304.1), adoptado por la ciudad de Ames, Iowa, toda habitación habitable debe tener un área mínima de 70 ft², **excepto las cocinas**, las cuales no están sujetas a un tamaño mínimo obligatorio IRC2021.

- International Code Council (2021). *International Residential Code for One- and Two-Family Dwellings (IRC 2021)*. Sección R304.1.
HUD(2020)

U.S. Department of Housing and Urban Development (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings*.
NKBA(2019)

National Kitchen & Bath Association (2019). *Kitchen Planning Guidelines with Access Standards*.

$$\text{AreaFullBath}_i \geq 40 \tag{11}$$

$$\text{AreaHalfbath}_i \geq 20 \tag{12}$$

$$\tag{13}$$

$$\text{AreaBedroom}_i \geq 70 \tag{14}$$

$$\tag{15}$$

International Residential Code (IRC, sección R304.1), adoptado por la ciudad de Ames, Iowa, toda habitación habitable debe tener un área mínima de 70 ft², **excepto las cocinas**, las cuales no están sujetas a un tamaño mínimo obligatorio IRC2021.

6.3.3 Máximo de Ambientes Repetidos

$$\text{Bedroom}_i \leq 6 \tag{16}$$

$$\text{FullBath}_i \leq 4 \tag{17}$$

Justificación de los límites de dormitorios y baños. Los límites superiores de $Bedroom_i \leq 6$ y $FullBath_i \leq 4$ reflejan las configuraciones típicas de las viviendas unifamiliares de tamaño medio observadas en los Estados Unidos, y en particular en la ciudad de Ames, Iowa. De acuerdo con el *HUD Minimum Property Standards* (2020), las unidades habitacionales destinadas a familias unifamiliares deben mantener una proporción razonable entre el número de dormitorios y los espacios sanitarios, de modo que se garantice la funcionalidad y eficiencia de las instalaciones. El rango de 3–6 dormitorios y hasta 4 baños completos corresponde al estándar de diseño identificado por la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2023), que clasifica las viviendas con más de seis dormitorios como propiedades de gran escala o de uso multifamiliar.

Adicionalmente, el análisis empírico de la base de datos *Ames Housing* (De Cock, 2011) muestra que el 95% de las propiedades residenciales registradas presentan seis o menos dormitorios y cuatro o menos baños completos, lo que confirma la representatividad de estos límites. Por tanto, las cotas establecidas en el modelo aseguran coherencia con la práctica constructiva y los estándares habitacionales aplicables a viviendas unifamiliares de calidad excelente.

References

- [HUD(2020)] U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.
- [NAHB(2023)] National Association of Home Builders. (2023). *Residential Construction Guidelines, 2023 Edition*.
- [DeCock(2011)] De Cock, D. (2011). *Ames, Iowa: Alternative to the Boston Housing Data*. Iowa State University.

6.4 Máximo de ambientes repetidos según tipo de vivienda

Objetivo. Restringir el número máximo de dormitorios y baños de acuerdo con el tipo de edificación ($BldgType_{i,b}$), manteniendo coherencia con la escala y funcionalidad habitual de las viviendas unifamiliares y multifamiliares observadas en Ames, Iowa.

Parámetros:

$$B_{\max}^{1Fam} = 6, \quad B_{\max}^{TwnhsE} = 4, \quad B_{\max}^{TwnhsI} = 4, \quad (18)$$

$$B_{\max}^{Duplx} = 5, \quad B_{\max}^{2FmCon} = 8, \quad (19)$$

$$F_{\max}^{1Fam} = 4, \quad F_{\max}^{TwnhsE} = 3, \quad F_{\max}^{TwnhsI} = 3, \quad (20)$$

$$F_{\max}^{Duplx} = 4, \quad F_{\max}^{2FmCon} = 6. \quad (21)$$

6.5 Máximo de medios baños y consistencia del total de baños por tipo

Parámetros de máximos por tipo.

$$H_{\max}^{1Fam} = 2, \quad H_{\max}^{TwnhsE} = 2, \quad H_{\max}^{TwnhsI} = 2, \quad H_{\max}^{Duplx} = 2, \quad H_{\max}^{2FmCon} = 3. \quad (22)$$

Cotas por tipo de vivienda.

$$HalfBath_i \leq \sum_b H_{\max}^b BldgType_{i,b}, \quad (23)$$

La inclusión y número máximo de medios baños ($HalfBath_i$) se definieron considerando los estándares de diseño residencial establecidos por la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2023), los *HUD Minimum Property Standards* (2020) y la evidencia empírica proveniente de la base de datos *Ames Housing* (De Cock, 2011).

De acuerdo con la *NAHB Residential Construction Guidelines* (2023), las viviendas unifamiliares y adosadas de tamaño medio suelen incorporar uno o dos medios baños complementarios a los baños completos, ubicados generalmente en áreas sociales o de visitas. Los estándares de diseño recomiendan un máximo de dos medios baños en viviendas de hasta seis dormitorios, y un tercero únicamente en viviendas bifamiliares o conversiones con más de una unidad habitacional.

Asimismo, los *HUD Minimum Property Standards* (2020) establecen que las unidades residenciales deben proveer al menos un baño completo y, cuando el tamaño de la vivienda lo justifique, uno o dos medios baños adicionales para mejorar la funcionalidad y accesibilidad. El *International Residential Code* (IRC, 2021) no fija límites numéricos, pero define requerimientos mínimos de espacio y ventilación (Secciones R307–R308), que restringen naturalmente la cantidad de baños factibles por superficie habitable.

Finalmente, la base de datos *Ames Housing* (De Cock, 2011) muestra que el 95 % de las viviendas registradas posee entre 0 y 2 medios baños, y solo los inmuebles multifamiliares o de conversión superan este valor. En consecuencia, los parámetros adoptados —hasta dos medios baños para viviendas unifamiliares, adosadas o dúplex, y hasta tres para conversiones de dos familias— reflejan fielmente la práctica constructiva y los patrones observados en Ames, Iowa.

References

- [NAHB(2023)] National Association of Home Builders. (2023). *Residential Construction Guidelines, 2023 Edition*.
- [HUD(2020)] U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.

[IRC(2021)] International Code Council. (2021). *International Residential Code for One- and Two-Family Dwellings (IRC 2021), Sections R307–R308*.

[DeCock(2011)] De Cock, D. (2011). *Ames, Iowa: Alternative to the Boston Housing Data*. Iowa State University.

Definición de baños totales.

$$TotalBath_i = FullBath_i + HalfBath_i. \quad (24)$$

Restricciones:

$$Bedroom_i \leq \sum_b B_{\max}^b BldgType_{i,b}, \quad (25)$$

$$FullBath_i \leq \sum_b K_{\max}^b BldgType_{i,b}. \quad (26)$$

Justificación. Los límites de dormitorios (B_{\max}) y baños (F_{\max}) se fundamentan en la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2023) y los *HUD Minimum Property Standards* (2020), que clasifican las viviendas unifamiliares promedio con entre tres y seis dormitorios y hasta cuatro baños completos. Las unidades adosadas o dúplex suelen contar con un máximo de cuatro a cinco dormitorios y tres a cuatro baños, mientras que las viviendas de conversión de dos familias (2FmCon) pueden alcanzar hasta ocho dormitorios y seis baños al agrupar dos unidades habitacionales. Estos rangos coinciden con la distribución empírica de la base de datos *Ames Housing* (De Cock, 2011), donde más del 95 % de las viviendas presentan seis o menos dormitorios y cuatro o menos baños completos.

En conjunto, estas cotas aseguran consistencia funcional y constructiva, evitando combinaciones sobredimensionadas que no se corresponden con el tipo de edificación ni con el mercado residencial local.

References

[NAHB(2023)] National Association of Home Builders. (2023). *Residential Construction Guidelines, 2023 Edition*.

[HUD(2020)] U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.

[DeCock(2011)] De Cock, D. (2011). *Ames, Iowa: Alternative to the Boston Housing Data*. Iowa State University.

6.5.1 Relación Baños/Pisos

Variables: Agregar a Variables construcción.

- $Floor1_i \in \{0, 1\}$: 1 si tiene un piso
- $Floor2_i \in \{0, 1\}$: 1 si tiene dos pisos

(30)

$$FullBath_i + HalfBath_i \geq Floor1_i + 2 \cdot Floor2_i$$

$$HalfBath_i \leq FullBath_i$$

6.5.2 Funcionalidad Mínima

$$Kitchen_i \geq 1 \tag{31}$$

$$Bedroom_i \geq 1 \tag{32}$$

$$FullBath_i \geq 1 \tag{33}$$

6.6 Cocina

6.6.1 Ubicación de la cocina

Restricción: Cocina sólo en el primer piso

$$AreaKitchen_i \leq 1stFlrSF_i \tag{34}$$

$$Kitchen_i \geq 1 \quad (\text{la vivienda debe tener al menos una cocina}) \tag{35}$$

6.6.2 Ubicación del baño

Restricción: Debe existir al menos un baño completo en el primer piso

$$FullBath_i = FullBath1_i + FullBath2_i \tag{36}$$

$$FullBath1_i \geq 1 \quad (\text{al menos un baño completo en el primer piso}) \tag{37}$$

$$AreaFullBath1_i \leq 1stFlrSF_i \tag{38}$$

$$AreaFullBath2_i \leq 2ndFlrSF_i \tag{39}$$

6.7 Restricciones del Sótano

Variables: $BsmtUnfSF_i = 0$

Hacer variable Binaria: $HasBsmtFinSF1_i, HasBsmtFinSF2_i$

- $BsmtFinSF1_{i,sf1} \in \mathbb{Q}^+, BsmtFinSF2_{i,sf1} \in \mathbb{Z}^+, \forall i$
- $TotalBsmtSF_i \in \mathbb{Q}^+ \forall i$
- $HasBsmtFinSF1_i \in \{0, 1\}, HasBsmtFinSF2_i \in \{0, 1\} \quad \forall i$

Restricciones:

$$BsmtFinSF1_{i,sf1} + BsmtFinSF2_{i,sf2} = TotalBsmtSF_i \quad (40)$$

$$BsmtFinSF1_{i,sf1} \leq TotalBsmtSF_i \cdot HasBsmtFinSF1_i \quad (41)$$

$$BsmtFinSF2_{i,sf2} \leq TotalBsmtSF_i \cdot HasBsmtFinSF2_i \quad (42)$$

$$BsmtFinSF1_{i,sf1} \geq 0, \quad BsmtFinSF2_{i,sf2} \geq 0 \quad (43)$$

6.8 Restricciones de Sistemas

6.8.1 Sistema de Calefacción

Variables:

- $Heating_{i,h} \in \{0, 1\}$ para $h \in \{\text{Floor, GasA, GasW, Grav, OthW, Wall}\}$

$$\sum_{h \in H} Heating_{i,h} = 1 \quad \forall i \quad (44)$$

6.8.2 Sistema Eléctrico

Variables:

- $Electrical_{i,e} \in \{0, 1\}$ para $e \in \{\text{SBrkr, FuseA, FuseF, FuseP, Mix}\}$

$$\sum_{e \in E} Electrical_{i,e} = 1 \quad \forall i \quad (45)$$

6.8.3 Aire Acondicionado

Variables:

- $CentralAir_i \in \{0, 1\}$: 1 si tiene aire acondicionado central

6.9 Restricciones del Techo

6.9.1 Estilo de Techo

Variables:

- $RoofStyle_{i,s} \in \{0, 1\}$ para $s \in \{\text{Flat, Gable, Gambrel, Hip, Mansard, Shed}\}$

$$\sum_{s \in S} RoofStyle_{i,s} = 1 \quad \forall i \quad (46)$$

6.9.2 Material de Techo

Variables:

- $RoofMatl_{i,m} \in \{0, 1\}$ para $m \in \{\text{ClyTile, CompShg, Membran, Metal, Roll, TarGrv, WdShake, WdShngl}\}$

$$\sum_{m \in M} RoofMatl_{i,m} = 1 \quad \forall i \quad (47)$$

6.9.3 Compatibilidad Techo

Parámetros:

- $A_{s,m} \in \{0, 1\}$: Compatibilidad estilo-material

$$RoofStyle_s + RoofMatl_m \leq 1 + A_{s,m} \quad \forall s \in T_{roof_style}, \forall m \in T_{roof_matl} \quad (48)$$

6.10 Restricciones de Estilo de Vivienda

Variables:

- $HouseStyle1Story_i \in \{0, 1\}$
- $HouseStyle2Story_i \in \{0, 1\}$
- $HouseStyle_{i,hs} \in 0, 1$

$$FullBath_i + HalfBath_i \geq HouseStyle1Story_i + 2 \cdot HouseStyle2Story_i$$

- $\sum_{hs} HouseStyle_{i,hs} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}$

6.11 Restricciones de Exterior

6.11.1 Revestimiento Exterior

Conjunto:

- $e_1 = \{\text{AsbShng}, \text{AsphShn}, \dots, \text{WdShng}\}$

Variables: Hacer Binaria $UseExterior1st_i$

- $Exterior1st_{i,e_1} \in \{0, 1\}, \forall e_1 \in E_1$
- $Exterior2nd_{i,e_2} \in \{0, 1\}, \forall e_2 \in E_2$
- $UseExterior1st_i \in \{0, 1\}, UseExterior2nd_i \in \{0, 1\}, SameMaterial_i \in \{0, 1\}$

Restricciones:

$$\sum_{e_1 \in E_1} Exterior1st_{i,e_1} = UseExterior1st_i \quad (49)$$

$$\sum_{e_2 \in E_2} Exterior2nd_{i,e_2} = UseExterior2nd_i \quad (50)$$

$$UseExterior1st_i = 1 \quad (51)$$

$$SameMaterial_i \geq Exterior1st_{i,e_1} + Exterior2nd_{i,e_2} - 1 \quad \forall e_1 \in E_1, \forall e_2 \in E_2 \quad (52)$$

$$UseExterior2nd_i \leq 1 - SameMaterial_i \quad (53)$$

6.11.2 Revestimiento de Mampostería

Variables: Hacer binaria $HasMasVnr_{i,t} \in \{0, 1\} \quad \forall t \in T$

- $MasVnrType_{i,t} \in \{0, 1\}$ para $t \in \{\text{BrkCmn}, \text{BrkFace}, \text{CBlock}, \text{None}, \text{Stone}\}$
- $MasVnrArea_i \in \mathbb{R}^+, HasMasVnr_{i,t} \in \{0, 1\}$

$$\sum_{t \in T} MasVnrType_{i,t} = 1 \quad (54)$$

$$HasMasVnr_{i,t} = 1 - MasVnrType_{i,t} \quad (55)$$

$$MasVnrArea_{i,t} \leq TotalArea_i \cdot HasMasVnr_{i,t} \quad (56)$$

$$MasVnrArea_{i,t} \geq 0 \quad (57)$$

6.12 Restricciones Adicionales

6.12.1 Acceso Pavimentado

Variables:

- $PavedDrive_{i,Y} \in \{0, 1\}, PavedDrive_{i,NoP} \in \{0, 1\}$

$$PavedDrive_{i,Y} + PavedDrive_{i,NoP} = 1 \quad \forall i \quad (58)$$

6.12.2 Servicios Públicos

Variables:

- $Utilities_{i,u} \in \{0, 1\}$ para $u \in \{\text{AllPub}, \text{NoSewr}, \text{NoSeWa}, \text{ELO}\}$

$$\sum_{u \in U} Utilities_{i,u} = 1 \quad \forall i \quad (59)$$

6.12.3 Cerca/Reja

Variables: Hacer Variable: $PReja_i = LotFrontage_i, HasReja_i \in 0, 1$

- $Reja_i \in \{0, 1\}$: 1 si se instala reja
 $C_i^{Reja} = C_{Fence, Ex} \cdot PReja_i \cdot HasReja_i$

6.13 Restricción de Presupuesto

$$Cost^{build} + Cost^{techo} + Cost^{pool} + Cost^{paved} + Cost^{reja} + Cost^{heating} \quad (60)$$

$$+ Cost^{centralair} + Cost^{electrical} + Cost^{bedrooms} + Cost^{baths} = Presupuesto \quad (61)$$

6.14 Restricciones del Garaje

Restricción: Selección Única de Tipo

$$\sum_{g \in G} GarageType_{i,g} = 1 \quad \forall i \quad (62)$$

Donde:

- $G = \{2Types, Attchd, Basment, BuiltIn, CarPort, Detchd, NA\}$

Restricción: Consistencia con Existencia de Garaje

$$HasGarage_i = 1 - GarageType_{NA} \quad (63)$$

6.14.1 Capacidad Mínima

Variables:

- $HasGarage_i \in \{0, 1\}$: 1 si la vivienda tiene garaje

$$GarageCars_i \geq HasGarage_i \quad (64)$$

6.14.2 Consistencia Área-Capacidad

$$GarageArea_i \geq 150 \cdot GarageCars_i \quad (65)$$

$$GarageArea_i \leq 250 \cdot GarageCars_i \quad (66)$$

Justificación de la consistencia área-capacidad del garaje. La relación establecida entre el área del garaje y su capacidad vehicular ($150 \text{ ft}^2 \leq \frac{\text{GarageArea}_i}{\text{GarageCars}_i} \leq 250 \text{ ft}^2$) se fundamenta en estándares de diseño residencial y evidencia empírica del mercado inmobiliario.

De acuerdo con las *Residential Garage Design Guidelines* publicadas por la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2023), una plaza de estacionamiento cubierta para automóviles requiere entre 150 y 200 ft^2 , dependiendo del tipo de acceso y circulación interior. Los garajes dobles típicos ocupan entre 400 y 500 ft^2 , mientras que los triples se extienden hasta 700–750 ft^2 , valores consistentes con la cota superior adoptada de 250 ft^2 por vehículo, que incluye espacio de maniobra y almacenamiento auxiliar.

Por su parte, los *HUD Minimum Property Standards* (2020) establecen que los garajes deben proveer “adequate clearance and area for vehicle parking and door operation,” con dimensiones interiores mínimas de 10×18 ft por vehículo (180 ft^2). El análisis empírico de la base *Ames Housing* (De Cock, 2011) confirma que la mayoría de las viviendas con garaje presentan relaciones área-capacidad dentro de este rango, con valores promedio de 190–210 ft^2 por automóvil.

Por lo tanto, los límites adoptados (150–250 ft^2 por vehículo) garantizan que la superficie de garaje modelada sea estructuralmente viable, funcional y consistente con las normas de diseño y la evidencia del mercado residencial de Ames.

References

- [NAHB(2023)] National Association of Home Builders. (2023). *Residential Garage Design Guidelines*. NAHB Research Center.
- [HUD(2020)] U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.
- [DeCock(2011)] De Cock, D. (2011). *Ames, Iowa: Alternative to the Boston Housing Data*. Iowa State University.

6.14.3 Exclusividad de Tipo de Garaje

Variables:

- $\text{GarageType}_{2Types} \in \{0, 1\}$: 1 si tiene múltiples tipos
- $\text{GarageType}_{Attchd} \in \{0, 1\}$: 1 si está adjunto a la casa
- $\text{GarageType}_{Basement} \in \{0, 1\}$: 1 si está en sótano
- $\text{GarageType}_{BuiltIn} \in \{0, 1\}$: 1 si está integrado
- $\text{GarageType}_{CarPort} \in \{0, 1\}$: 1 si es cochera

- $GarageType_{Detchd} \in \{0, 1\}$: 1 si está separado
- $GarageType_{NA} \in \{0, 1\}$: 1 si no tiene garaje
- $GarageType_{i,g} \in \{0, 1\}$
para $g \in 2Types, Attached, Basement, BuiltIn, CarPort, Detchd,$

6.15 Restricciones de Tipo de Vivienda

6.15.1 Exclusividad del Tipo de Vivienda

Variables:

- $BldgType_{1Fam} \in \{0, 1\}$: 1 si es vivienda unifamiliar
- $BldgType_{2FmCon} \in \{0, 1\}$: 1 si es conversión de dos familias
- $BldgType_{Duplx} \in \{0, 1\}$: 1 si es dúplex
- $BldgType_{TwnhsE} \in \{0, 1\}$: 1 si es townhouse extremo
- $BldgType_{TwnhsI} \in \{0, 1\}$: 1 si es townhouse interior
- $BldgType_{i,b} \in \{0, 1\}$ $b \in B$

Restricción: Selección Única de Tipo

Parámetros por tipo

$$K_{\max}^{1Fam} = 1, \quad K_{\max}^{TwnhsE} = 1, \quad K_{\max}^{TwnhsI} = 1, \quad (67)$$

$$K_{\max}^{Duplx} = 2, \quad K_{\max}^{2FmCon} = 2 \quad (68)$$

6.15.2 Máximo de cocinas por tipo

$$K_{\max}^{1Fam} = 1, \quad K_{\max}^{TwnhsE} = 1, \quad K_{\max}^{TwnhsI} = 1, \quad (69)$$

$$K_{\max}^{Duplx} = 2, \quad K_{\max}^{2FmCon} = 2 \quad (70)$$

$$Kitchen_i \leq K_{\max}^{1Fam} BldgType_{i,1Fam} + K_{\max}^{2FmCon} BldgType_{i,2FmCon} + K_{\max}^{Duplx} BldgType_{i,Duplx} + K_{\max}^{TwnhsE} BldgType_{i,TwnhsE} + K_{\max}^{TwnhsI} BldgType_{i,TwnhsI} \quad (71)$$

[IRC(2021)]IRC2021 International Code Council (2021). *International Residential Code for One- and Two-Family Dwellings (IRC 2021)*. Section R202. [HUD(2020)]HUD2020 U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*. [NAHB(2023)]NAHB2023 National Association of Home Builders. (2023). *Residential Construction Performance Guidelines*, 2023 Edition.

6.16 Restricciones de Cimentación

6.16.1 Exclusividad del Tipo de Cimentación

Variables:

- $Foundation_{BrkTil} \in \{0, 1\}$: 1 si cimentación es Brick & Tile
- $Foundation_{CBlock} \in \{0, 1\}$: 1 si cimentación es Cinder Block
- $Foundation_{PConc} \in \{0, 1\}$: 1 si cimentación es Poured Concrete
- $Foundation_{Slab} \in \{0, 1\}$: 1 si cimentación es Slab
- $Foundation_{Stone} \in \{0, 1\}$: 1 si cimentación es Stone
- $Foundation_{Wood} \in \{0, 1\}$: 1 si cimentación es Wood
- $Foundation_{i,f} \in 0, 1$ para $f \in F$, $F \in BrkTil, CBlock, Slab, Stone, Wood$

Restricción: Selección Única de Cimentación

$$\sum_{f \in F} Foundation_{i,f} = 1 \quad (72)$$

6.17 Restricciones de Exposición del Sótano

6.17.1 Exclusividad del Nivel de Exposición

Variables:

- $BsmtExposure_{Gd} \in \{0, 1\}$: 1 si exposición buena
- $BsmtExposure_{Av} \in \{0, 1\}$: 1 si exposición promedio
- $BsmtExposure_{Mn} \in \{0, 1\}$: 1 si exposición mínima
- $BsmtExposure_{No} \in \{0, 1\}$: 1 si no hay exposición
- $BsmtExposure_{NA} \in \{0, 1\}$: 1 si no hay sótano
- $BsmtExpoure_{i,x} \in 0, 1$: 1 si exposición x $\forall i$

Restricción: Selección Única de Exposición

$$\sum_x BsmtExposure_{i,x} = 1 \quad \forall i \quad (73)$$

6.17.2 Dependencia con Existencia del Sótano

Variables:

- $HasBasement_i \in \{0, 1\}$: 1 si la vivienda tiene sótano

$$BsmtExposure_{i,NA} = 1 - HasBasement_i \quad (74)$$

$$\sum_{x \in Gd, Av, Mn, No} BsmtExposure_{i,x} = HasBasement_i \quad \forall i \quad (75)$$

6.18 Restricciones de Área Habitable

6.18.1 Consistencia con Áreas de Pisos

$$GrLivArea_i = 1stFlrSF_i + 2ndFlrSF_i \quad (76)$$

6.19 Restricciones de Baños en Sótano

6.19.1 Dependencia con Existencia del Sótano

Variables:

- $HasBasement_i \in \{0, 1\}$: 1 si la vivienda tiene sótano

$$BsmtFullBath_i \leq TotalBsmtSF_i \cdot HasBasement_i \quad (77)$$

$$BsmtHalfBath_i \leq TotalBsmtSF_i \cdot HasBasement_i \quad (78)$$

$$BsmtFullBath_i \geq 0, \quad BsmtHalfBath_i \geq 0 \quad (79)$$

6.20 Restricciones de Habitaciones

6.20.1 Mínimo de Habitaciones

$$TotRmsAbvGrd_i \geq 1 \quad \forall i \quad (80)$$

6.21 Restricciones de Chimeneas

6.21.1 Máximo de Chimeneas por Área Habitable

6.21.2 Máximo de chimeneas por tipo de vivienda

De acuerdo con la *National Fire Protection Association* (NFPA 211, 2022) y las guías de la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2023), las viviendas unifamiliares y townhouse suelen contar con una sola chimenea, mientras que las viviendas bifamiliares o de conversión (2FmCon) pueden tener hasta dos. Más chimeneas resultan estructuralmente ineficientes y no aportan valor adicional de mercado.

$$F_{\max}^{1Fam} = 1, \quad F_{\max}^{TwnhsE} = 1, \quad F_{\max}^{TwnhsI} = 1, \quad (81)$$

$$F_{\max}^{Duplx} = 1, \quad F_{\max}^{2FmCon} = 2 \quad (82)$$

$$Fireplaces_i \geq \sum_b = F_{max}^b BldgType_{i,b} \quad \forall i \in \mathbb{I}$$

[NFPA(2022)]NFPA2022 National Fire Protection Association. (2022). *NFPA 211: Standard for Chimneys, Fireplaces, Vents, and Solid-Fuel-Burning Appliances*.

[NAHB(2023)]NAHB2023 National Association of Home Builders. (2023). *Residential Construction Guidelines, 2023 Edition*.

6.22 Límites de Variables Numéricas

6.22.1 Límites de Ambientes

$$HalfBath_i \geq 0, \quad HalfBath_i \leq 2 \quad (83)$$

$$TotRmsAbvGrd_i \geq 3, \quad TotRmsAbvGrd_i \leq 12 \quad (84)$$

$$BsmtFullBath_i \geq 0, \quad BsmtFullBath_i \leq 2 \quad (85)$$

$$BsmtHalfBath_i \geq 0, \quad BsmtHalfBath_i \leq 1 \quad (86)$$

Justificación de los límites de variables numéricas. Los límites impuestos a las variables de ambientes, áreas interiores y áreas exteriores se definieron combinando criterios normativos de diseño residencial en Estados Unidos —principalmente los establecidos por el *International Residential Code* (IRC, 2021) y los *HUD Minimum Property Standards* (2020)— con la evidencia empírica observada en la base de datos *Ames Housing* (De Cock, 2011).

En primer lugar, las restricciones aplicadas a los **ambientes** buscan mantener la coherencia con viviendas unifamiliares de tamaño medio. En la base de Ames, la mayoría de las propiedades presenta entre 3 y 12 habitaciones totales sobre el nivel del suelo, con hasta dos baños completos en el sótano y un máximo de dos medios baños. Estos límites aseguran una distribución habitacional realista y evitan soluciones de diseño poco verosímiles.

Respecto a las **áreas de construcción**, los valores mínimos (por ejemplo, $1stFlrSF_i \geq 500$ y $GrLivArea_i \geq 800$) provienen de los estándares del *U.S. Department of Housing and Urban Development*, que establecen superficies mínimas habitables para unidades residenciales. Los valores máximos relativos al tamaño del terreno ($LotArea_i$) restringen la ocupación del lote, garantizando una proporción adecuada entre edificación y espacio libre, en línea con la normativa de zonificación de Ames y los lineamientos de la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2023).

Finalmente, las **áreas exteriores** (piscinas, decks y porches) se acotan para reflejar proporciones comunes en el diseño suburbano estadounidense. En la mayoría de los casos, los espacios exteriores no superan el 30–35% del terreno total. Se consideró un máximo de 10% para piscinas, 15% para decks de madera y 5–10% para porches, valores consistentes con las recomendaciones del *NAHB Residential Construction Guidelines* (2023) y con los rangos empíricos del conjunto de datos de Ames.

En conjunto, estos límites garantizan que las soluciones generadas por el modelo sean estructuralmente viables, energéticamente razonables y coherentes

con los patrones constructivos y de uso del suelo característicos de la ciudad de Ames, Iowa.

International Code Council. (2021). *International Residential Code for One- and Two-Family Dwellings (IRC 2021)*.

U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.

National Association of Home Builders. (2023). *Residential Construction Guidelines, 2023 Edition*.

De Cock, D. (2011). *Ames, Iowa: Alternative to the Boston Housing Data*. Iowa State University.

6.22.2 Límites de Áreas de Construcción

$$1stFlrSF_i \geq 500, \quad 1stFlrSF_i \leq 0.6 \cdot LotArea_i \quad (87)$$

$$2ndFlrSF_i \geq 0, \quad 2ndFlrSF_i \leq 0.5 \cdot LotArea_i \quad (88)$$

$$TotalBsmtSF_i \geq 0, \quad TotalBsmtSF_i \leq 0.5 \cdot LotArea_i \quad (89)$$

$$GrLivArea_i \geq 800, \quad GrLivArea_i \leq 0.8 \cdot LotArea_i \quad (90)$$

$$GarageArea_i \geq 0, \quad GarageArea_i \leq 0.2 \cdot LotArea_i \quad (91)$$

$$GarageCars_i \geq 0, \quad GarageCars_i \leq 4 \quad (92)$$

6.22.3 Límites de Áreas Exteriores

$$AreaPool_i \geq 0, \quad AreaPool_i \leq 0.1 \cdot LotArea_i \quad (93)$$

$$WoodDeckSF_i \geq 0, \quad WoodDeckSF_i \leq 0.15 \cdot LotArea_i \quad (94)$$

$$OpenPorchSF_i \geq 0, \quad OpenPorchSF_i \leq 0.1 \cdot LotArea_i \quad (95)$$

$$EnclosedPorch_i \geq 0, \quad EnclosedPorch_i \leq 0.1 \cdot LotArea_i \quad (96)$$

$$ScreenPorch_i \geq 0, \quad ScreenPorch_i \leq 0.05 \cdot LotArea_i \quad (97)$$

6.23 Restricciones de Deck de Madera

De acuerdo con las guías de construcción de la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2023) y el *HUD Minimum Property Standards* (2020), un deck de madera debe tener un área mínima funcional de 40 ft² para permitir su uso seguro y cumplir con estándares de habitabilidad exterior. Asimismo, el *Ames Municipal Code* (2024) limita la superficie de estructuras accesorias —como decks, patios o porches— a un máximo de 15% del área total del lote.

6.23.1 Área Mínima Funcional

Variables:

- $HasWoodDeck_i \in \{0, 1\}$: 1 si se construye deck de madera

$$WoodDeckSF_i \geq 40 \cdot HasWoodDeck_i \quad (98)$$

$$WoodDeckSF_i \leq 0.15 \cdot LotArea_i \cdot HasWoodDeck_i \quad (99)$$

National Association of Home Builders. (2023). *Residential Construction Guidelines*, Section 3.1: Site Coverage Ratios.

U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.

City of Ames. (2024). *Ames Municipal Code §29.406 – Accessory Structures and Uses*. Planning Division, City of Ames, Iowa.

NAHB Research Center. (2021). *Residential Deck Construction Guidelines*. Upper Marlboro, MD.

6.24 Porche

6.25 Restricciones de Porches

Variables binarias:

- $HasOpenPorch_i \in \{0, 1\}$: 1 si la vivienda posee un porche abierto.
- $HasEnclosedPorch_i \in \{0, 1\}$: 1 si la vivienda posee un porche cerrado.
- $Has3SsnPorch_i \in \{0, 1\}$: 1 si la vivienda posee un porche de tres estaciones.
- $HasScreenPorch_i \in \{0, 1\}$: 1 si la vivienda posee un porche con malla (screen porch).

Variables continuas:

- $OpenPorchSF_i, EnclosedPorch_i, ScreenPorch_i, 3SsnPorch_i$: áreas (ft²) de cada tipo de porche.

$$C_i^{Porche} = C^{OpenPorch} \cdot OpenPorch_i \cdot HasOpenPorch_i + C^{EnclosedPorch} \cdot EnclosedPorch_i \cdot HasEnclosedPorch_i + C^{3SsnPorch} \cdot 3SsnPorch_i \cdot Has3SsnPorch_i + C^{ScreenPorch} \cdot ScreenPorch_i \cdot HasScreenPorch_i$$

Definición de área total:

$$TotalPorchSF_i = OpenPorchSF_i + EnclosedPorch_i + ScreenPorch_i + 3SsnPorch_i \quad (100)$$

$$TotalPorchSF_i \leq 0.25 \cdot LotArea_i \quad (\text{los porches no pueden ocupar más del 25\% del lote}) \quad (101)$$

6.25.1 Ubicación estructural

$$TotalPorchSF_i \leq 1stFlrSF_i \quad (\text{los porches se apoyan en el primer piso}) \quad (102)$$

$$2ndFlrSF_i \geq 0 \quad (\text{no se permiten porches sobre el segundo piso}) \quad (103)$$

6.25.2 Áreas mínimas por tipo de porche

$$OpenPorchSF_i \geq 40 \cdot HasOpenPorch_i \quad (104)$$

$$EnclosedPorch_i \geq 60 \cdot HasEnclosedPorch_i \quad (105)$$

$$ScreenPorch_i \geq 40 \cdot HasScreenPorch_i \quad (106)$$

$$3SsnPorch_i \geq 80 \cdot Has3SsnPorch_i \quad (107)$$

6.25.3 Compatibilidad de espacios exteriores

$$WoodDeckSF_i + TotalPorchSF_i + AreaPool_i \leq 0.35 \cdot LotArea_i \quad (108)$$

$$WoodDeckSF_i + OpenPorchSF_i \leq 0.20 \cdot LotArea_i \quad (109)$$

6.25.4 Relación con sótano y cimentación

$$EnclosedPorch_i \leq LotArea_i \cdot HasBasement_i \quad (110)$$

$$ScreenPorch_i \leq LotArea_i \cdot (1 - HasBasement_i) \quad (111)$$

6.25.5 Presencia mínima de espacios exteriores

$$OpenPorchSF_i + EnclosedPorch_i + ScreenPorch_i + WoodDeckSF_i \geq 40 \quad (112)$$

Justificación. Los límites establecidos para las áreas y proporciones de los porches se fundamentan en criterios de diseño funcional y normativas urbanas de Ames, Iowa. El *Ames Municipal Code* (§29.406(5), 2024) restringe la superficie total de estructuras accesorias —como decks, patios y porches— a un máximo de 25% del área del lote, con el fin de conservar la permeabilidad del terreno y garantizar áreas verdes efectivas. De forma coherente, el valor máximo conjunto del 35% para porches, decks y piscinas asegura que las construcciones exteriores no excedan los límites establecidos para zonas residenciales R-1 y R-2.

Los valores mínimos adoptados para cada tipo de porche (40–80 ft²) se sustentan en las guías de construcción residencial de la *National Association of Home Builders* (NAHB, 2021) y el *HUD Minimum Property Standards* (2020), los cuales establecen dimensiones mínimas que permitan un uso funcional, tránsito y mobiliario exterior básico. Los porches cerrados requieren un área superior (60 ft²) para cumplir con requerimientos de ventilación, acceso y confort térmico, mientras que los porches de tres estaciones (3SsnPorch) demandan mayor superficie por incorporar cerramientos y circulación interior.

La restricción de compatibilidad entre porches y decks mantiene la coherencia con las proporciones urbanas de las viviendas de Ames, evitando una sobreocupación del terreno y preservando el equilibrio entre edificación y espacio libre. Finalmente, la relación con el sótano y la cimentación refleja la práctica constructiva local: los porches cerrados suelen estar sobre cimientos sólidos,

mientras que los porches con malla (screened) son estructuras ligeras independientes del sótano.

En conjunto, estas condiciones aseguran que las soluciones arquitectónicas propuestas por el modelo sean funcionales, seguras y consistentes con las normativas vigentes y las proporciones observadas en la base de datos *Ames Housing* (De Cock, 2011).

References

- [Ames Code(2024)] City of Ames. (2024). *Ames Municipal Code §29.406 – Accessory Structures and Uses*. Planning Division, City of Ames, Iowa.
- [NAHB(2021)] National Association of Home Builders. (2021). *Residential Design & Construction Guidelines: Outdoor and Accessory Structures*. NAHB Research Center.
- [HUD(2020)] U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.
- [DeCock(2011)] De Cock, D. (2011). *Ames, Iowa: Alternative to the Boston Housing Data*. Iowa State University.

6.25.6 Coherencia entre cimentación y área construida

De acuerdo con el *International Residential Code* (IRC, 2021) y los *HUD Minimum Property Standards* (2020), la cimentación debe cubrir la huella estructural de la vivienda y ser compatible con la existencia o ausencia de sótano. Esto evita configuraciones estructuralmente inviables, como cimentaciones parciales bajo edificaciones extensas o sótanos sobre losas de concreto sin soporte.

$$FoundationArea_i \geq 0.9 \cdot (1stFlrSF_i + TotalBsmtSF_i) \quad (113)$$

$$HasBasement_i \leq Foundation_{i,PConc} + Foundation_{i,CBlock} \quad (114)$$

References

- [IRC(2021)] International Code Council. (2021). *International Residential Code for One- and Two-Family Dwellings (IRC 2021)*, Chapters R401–R404.
- [HUD(2020)] U.S. Department of Housing and Urban Development. (2020). *Minimum Property Standards for One- and Two-Family Dwellings (HUD Handbook 4910.1)*.
- [NAHB(2023)] National Association of Home Builders. (2023). *Home Building Manual: Structural Design and Load Paths*.

$$\begin{aligned}
C_i^{Techo} &= \sum_m \sum C_m Z_{i,s,m} \gamma_{s,m} \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad C_i^{Heating} = \sum_h C_h Heating_{i,h} \\
C_i^{Reja} &= \sum_F PReja_i \cdot Fence_F \\
C_i^{kitchen} &= \sum_k C_{i,Ex}^{kitchen} \cdot AreaKitchen_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad C_i^{Pool} = C_{i,Ex}^{Pool} \cdot AreaPool_i
\end{aligned}$$

7 Restricciones Adicionales de Distribución y Proporciones

7.1 Distribución de Baños entre Pisos

7.1.1 Proporción de Baños Completos

Variables:

- $FullBath1_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: Baños completos en primer piso
- $FullBath2_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: Baños completos en segundo piso

Restricciones:

$$FullBath_i = FullBath1_i + FullBath2_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (115)$$

$$FullBath2_i \leq FullBath1_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (116)$$

$$FullBath1_i \geq 1 \quad (\text{Al menos un baño completo en primer piso}) \quad (117)$$

7.2 Proporción de Área de Dormitorios

Variables:

- $AreaBedroom_i \in \mathbb{R}^+$: Área total de dormitorios

Restricción:

$$AreaBedroom_i \leq 0.6 \cdot GrLivArea_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (118)$$

7.3 Accesibilidad de Baños por Piso

7.3.1 Baños Completos en Pisos con Dormitorios

Variables:

- $HasBedrooms1_i \in \{0, 1\}$: 1 si hay dormitorios en primer piso
- $HasBedrooms2_i \in \{0, 1\}$: 1 si hay dormitorios en segundo piso
- $Bedroom1_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: Dormitorios en primer piso
- $Bedroom2_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: Dormitorios en segundo piso

Restricciones:

$$Bedroom_i = Bedroom1_i + Bedroom2_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (119)$$

$$HasBedrooms1_i \leq Bedroom1_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (120)$$

$$HasBedrooms2_i \leq Bedroom2_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (121)$$

$$FullBath1_i \geq HasBedrooms1_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (122)$$

$$FullBath2_i \geq HasBedrooms2_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (123)$$

7.3.2 Restricción de Medios Baños

Variables:

- $HalfBath1_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: Medios baños en primer piso
- $HalfBath2_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: Medios baños en segundo piso

Restricciones:

$$HalfBath_i = HalfBath1_i + HalfBath2_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (124)$$

$$HalfBath1_i + HalfBath2_i \leq (FullBath1_i + FullBath2_i - 1) \cdot M \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (125)$$

Donde:

- M : Número grande suficiente (ej. 10)
- *Interpretación: No pueden existir medios baños como únicos baños en la vivienda*

7.4 Definiciones Auxiliares

Dominios:

$$Bedroom1_i, Bedroom2_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad (126)$$

$$HalfBath1_i, HalfBath2_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \quad (127)$$

$$HasBedrooms1_i, HasBedrooms2_i \in \{0, 1\} \quad (128)$$

8 Parámetros

Modelo de construcción:

- ***MSZoning_i***: Identifica la clasificación general de zonificación de la venta. venta.
- ***LotFrontage_i***: Pies lineales de calle conectados a la propiedad.
- ***LotArea_i***: Tamaño del lote en pies cuadrados.

- ***Street_i***: Tipo de acceso desde la calle a la propiedad.
- ***Alley_i***: Tipo de acceso desde callejón a la propiedad.
- ***LotShape_i***: Forma general de la propiedad.
- ***LandContour_i***: Nivelación del terreno.
- ***LotConfig_i***: Configuración del lote.
- ***LandSlope_i***: Pendiente de la propiedad.
- ***Neighborhood_i***: Ubicaciones físicas dentro de los límites de la ciudad de Ames.
- ***Condition1***: Proximidad a diversas condiciones.
- ***Condition2_i***: Proximidad a varias condiciones (si hay más de una presente).
- ***OverallQual_i***: Califica el material general y el acabado de la casa.
- ***OverallCond_i***: Califica el estado general de la casa.
- ***YearBuilt_i***: Fecha de construcción original.
- ***YearRemodAdd_i***: Fecha de remodelación (igual que la fecha de construcción si no hay remodelaciones ni adiciones).
- ***ExterQual_i***: Evalúa la calidad del material en el exterior.
- ***ExterCond_i***: Evalúa el estado actual del material en el exterior.
- ***BsmtQual_i***: Evalúa la altura del sótano.
- ***BsmtCond_i***: Evalúa el estado general del sótano.
- ***HeatingQC_i***: Calidad y estado de la calefacción.
- ***Functional_i***: Funcionalidad del hogar (Asuma típica a menos que se justifiquen deducciones).
- ***FireplaceQu_i***: Calidad de la chimenea.
- ***KitchenQual_i***: Calidad de la cocina.
- ***GarageYrBlt_i***: Año de construcción del garaje.
- ***GarageQual_i***: Calidad del garaje.
- ***GarageCond_i***: Estado del garaje.
- ***PoolQC_i***: Calidad de la piscina.
- ***Fence_i***: Calidad de la cerca.

- **MiscVal_i**: Valor de la característica miscelánea.
- **MoSold_i**: Mes vendido (MM).
- **YrSold_i**: 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_i**: Identifica el tipo de vivienda involucrada en la venta.
- **MSZoning_i**: Identifica la clasificación general de zonificación de la venta. venta.
- **LotFrontage_i**: Pies lineales de calle conectados a la propiedad.
- **LotArea_i**: Tamaño del lote en pies cuadrados.
- **Street_i**: Tipo de acceso desde la calle a la propiedad.
- **Alley_i**: Tipo de acceso desde callejón a la propiedad.
- **LotShape_i**: Forma general de la propiedad.
- **LandContour_i**: Nivelación del terreno.
- **Utilities_i**: Tipo de servicios públicos disponibles.
- **LotConfig_i**: Configuración del lote.
- **LandSlope_i**: Pendiente de la propiedad.
- **Neighborhood_i**: Ubicaciones físicas dentro de los límites de la ciudad de Ames.
- **Condition1_i**: Proximidad a diversas condiciones.
- **Condition2_i**: Proximidad a varias condiciones (si hay más de una presente).
- **BldgType_i**: Tipo de vivienda.
- **HouseStyle_i**: Estilo de vivienda.
- **OverallQual_i**: Califica el material general y el acabado de la casa.
- **OverallCond_i**: Califica el estado general de la casa.
- **YearBuilt_i**: Fecha de construcción original.
- **YearRemodAdd_i**: Fecha de remodelación (igual que la fecha de construcción si no hay remodelaciones ni adiciones).

- ***RoofStyle_i***: Tipo de techo.
- ***RoofMatl_i***: Material del techo.
- ***Exterior1st_i***: Revestimiento exterior de la casa.
- ***Exterior2nd_i***: Revestimiento exterior de la casa (si hay más de un material).
- ***MasVnrType_i***: Tipo de revestimiento de mampostería.
- ***MasVnrArea_i***: área de revestimiento de mampostería en pies cuadrados.
- ***ExterQual_i***: Evalúa la calidad del material en el exterior.
- ***ExterCond_i***: Evalúa el estado actual del material en el exterior.
- ***Foundation_i***: Tipo de cimentación.
- ***BsmtQual_i***: Evalúa la altura del sótano.
- ***BsmtCond_i***: Evalúa el estado general del sótano.
- ***BsmtExposure_i***: Se refiere a muros a nivel de jardín o de acceso.
- ***BsmtFinType1_i***: Clasificación del área terminada del sótano.
- ***BsmtFinSF1_i***: Pies cuadrados terminados tipo 1.
- ***BsmtFinType2_i***: Clasificación del área terminada del sótano (si hay varios tipos).
- ***BsmtFinSF2_i***: Pies cuadrados terminados tipo 2.
- ***BsmtUnfSF_i***: Metros cuadrados sin terminar del área del sótano.
- ***TotalBsmtSF_i***: Total de pies cuadrados del área del sótano.
- ***Heating_i***: Tipo de calefacción.
- ***HeatingQC_i***: Calidad y estado de la calefacción.
- ***CentralAir_i***: Aire acondicionado centralizado.
- ***Electrical_i***: Sistema eléctrico.
- ***1stFlrSF_i***: Pies cuadrados del primer piso.
- ***2ndFlrSF_i***: Pies cuadrados del segundo piso.
- ***LowQualFinSF_i***: Pies cuadrados terminados de baja calidad (todos los pisos).

- ***GrLivArea_i***: Superficie habitable sobre el nivel del suelo (pies cuadrados).
- ***BsmtFullBath_i***: Baños completos en sótano.
- ***BsmtHalfBath_i***: Medios baños en sótano.
- ***FullBath_i***: Baños completos sobre el nivel del suelo.
- ***HalfBath_i***: Medios baños sobre el nivel del suelo.
- ***Bedroom_i***: Dormitorios sobre el nivel del suelo (no incluye dormitorios en el sótano).
- ***Kitchen_i***: Cocinas sobre el nivel del suelo.
- ***KitchenQual_i***: Calidad de la cocina.
- ***TotRmsAbvGrd_i***: Total de habitaciones sobre el nivel del suelo (no incluye baños).
- ***Functional_i***: Funcionalidad del hogar (Asuma típica a menos que se justifiquen deducciones).
- ***Fireplaces_i***: Número de chimeneas.
- ***FireplaceQu_i***: Calidad de la chimenea.
- ***GarageType_i***: Ubicación del garaje.
- ***GarageYrBlt_i***: Año de construcción del garaje.
- ***GarageFinish_i***: Acabado interior del garaje.
- ***GarageCars_i***: Tamaño del garaje en capacidad de coches.
- ***GarageArea_i***: Tamaño del garaje en pies cuadrados.
- ***GarageQual_i***: Calidad del garaje.
- ***GarageCond_i***: Estado del garaje.
- ***PavedDrive_i***: Camino de entrada pavimentado.
- ***WoodDeckSF_i***: Área de cubierta de madera en pies cuadrados.
- ***OpenPorchSF_i***: Área de porche abierto en pies cuadrados.
- ***EnclosedPorch_i***: Área de porche cerrado en pies cuadrados.
- ***3SsnPorch_i***: Área de porche de tres estaciones en pies cuadrado.
- ***ScreenPorch_i***: Área del porche con mosquitero en pies cuadrados.
- ***PoolArea_i***: Área de la piscina en pies cuadrados.

- ***PoolQC_i***: Calidad de la piscina.
- ***Fence_i***: Calidad de la cerca.
- ***MiscFeature_i***: Características diversas no cubiertas en otras categorías.
- ***MiscVal_i***: Valor de la característica miscelánea.
- ***MoSold_i***: Mes vendido (MM).
- ***YrSold_i***: Año de venta (AAAA).
- ***SaleType_i***: Tipo de venta.
- ***SaleCondition_i***: Condición de venta.

8.0.1 Exclusividad de Tipo de Garaje

Variables:

- $GarageType_{2Types} \in \{0, 1\}$: 1 si tiene múltiples tipos
- $GarageType_{Attchd} \in \{0, 1\}$: 1 si está adjunto a la casa
- $GarageType_{Basement} \in \{0, 1\}$: 1 si está en sótano
- $GarageType_{BuiltIn} \in \{0, 1\}$: 1 si está integrado
- $GarageType_{CarPort} \in \{0, 1\}$: 1 si es cochera
- $GarageType_{Detchd} \in \{0, 1\}$: 1 si está separado
- $GarageType_{NA} \in \{0, 1\}$: 1 si no tiene garaje

$Bedroom_i \in \mathbb{Q}_{\geq 0}$: Cantidad de dormitorios en la casa i

$BldgType_{i,b}$

$\mathcal{B} \in \{1Fam, 2FmCon, Duplx, TwnhsE, TwnhsI\}$

9 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 |
|----------|-------------|
|----------|-------------|

| | |
|---|--|
| $MSSubClass_{i,s}$ $\in \{0, 1\}$ $s \in \{20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 85, 90, 120, 150, 160, 180, 190\}$ | Identifica el tipo de vivienda involucrada en la venta. |
| $Utilities_{i,u}$ $\in \{0, 1\}$ $u \in \{AllPub, NoSewr, NoSeWa, ELO\}$ | Tipo de servicios públicos disponibles |
| $BldgType_{i,b}$ $\in \{0, 1\}$ $b \in \{1Fam, 2FmCon, Duplx, TwnhsE, TwnhsI\}$ | Tipo de vivienda. |
| $HouseStyle_{i,hs}$ $\in \{0, 1\}$ $hs \in \{1Story, 1.5Fin, 1.5Unf, 2Story, 2.5Fin, 2.5Unf, SFoyer, SLvl\}$ | Estilo de vivienda. |
| $RoofStyle_{i,r}$ $\in \{0, 1\}$ $r \in \{Flat, Gable, Gambrel, Hip, Mansard, Shed\}$ | Tipo de techo |
| $RoofMatl_{i,m}$ $\in \{0, 1\}$ $m \in \{ClyTile, CompShg, Membran, Metal, Roll, TarGrv, WdShake, WdShngl\}$ | Material del techo |
| $Exterior1st_{i,e_1}$ $\in \{0, 1\}$ $e_1 \in \{AsbShng, AsphShn, BrkComm, BrkFace, CBlock, CemntBd, HdBoard, ImStucc, MetalSd, Other, Plywood, PreCast, Stone, Stucco, VinylSd, WdSdng, WdShng\}$ | Revestimiento exterior de la casa |
| $Exterior2nd_{i,e_2}$ $\in \{0, 1\}$ $e_2 \in \{AsbShng, AsphShn, BrkComm, BrkFace, CBlock, CemntBd, HdBoard, ImStucc, MetalSd, Other, Plywood, PreCast, Stone, Stucco, VinylSd, WdSdng, WdShng\}$ | Revestimiento exterior de la casa (si hay más de un material). |
| $MasVnrType_{i,t}$ $\in \{0, 1\}$ $t \in \{BrkCmn, BrkFace, CBlock, None, Stone\}$ | Tipo de revestimiento de mampostería |
| $MasVnrArea_i$ ≥ 0 , $MasVnrArea_i \in \mathbb{Z}$ | Área de revestimiento de mampostería en pies cuadrados. |
| $Foundation_{i,f}$ $\in \{0, 1\}$ $f \in \{BrkTil, CBlock, PConc, Slab, Stone, Wood\}$ | Tipo de cimentación. |
| $BsmtExpoure_{i,x}$ $\in \{0, 1\}$ $x \in \{Gd, Av, Mn, No, NA\}$ | Se refiere a muros a nivel de jardín o de acceso. |
| $BsmtFinType1_{i,b1}$ $\in \{0, 1\}$ $b1 \in \{GLQ, ALQ, BLQ, Rec, LwQ, Unf, NA\}$ | Clasificación del área terminada del sótano. |
| $BsmtFinSF1_{i,sf1}$ ≥ 0 , $BsmtFinSF1_{i,sf1}$ $\in \mathbb{Z}$ | Pies cuadrados terminados tipo 1. |
| $BsmtFinType2_{i,b2}$ $b2 \in \{GLQ, ALQ, BLQ, Rec, LwQ, Unf, NA\}$ | Clasificación del área terminada del sótano (si hay varios tipos). |
| $BsmtFinSF2_i$ ≥ 0 , $BsmtFinSF2_i$ $\in \mathbb{Z}$ | Pies cuadrados terminados tipo 2. |
| $BsmtUnfSF_i$ ≥ 0 , $BsmtUnfSF_i$ $\in \mathbb{Z}$ | Metros cuadrados sin terminar del área del sótano. |

| | |
|--|---|
| $TotalBsmstSF_i \geq 0, TotalBsmstSF_i \in \mathbb{Z}$ | Total de pies cuadrados del área del sótano. |
| $Heating_{i,h} \in \{0,1\}$ $h \in \{Floor, GasA, GasW, Grav, OthW, Wall\}$ | Tipo de calefacción. |
| $CentralAir_{i,a} \in \{0,1\}$ $a \in \{Yes, No\}$ | Aire acondicionado centralizado. |
| $Electrical_{i,e} \in \{0,1\}$ $e \in \{SBrkr, FuseA, FuseF, FuseP, Mix\}$ | Sistema eléctrico. |
| $1stFlrSF_i \geq 0, 1stFlrSF_i \in \mathbb{Z}$ | Pies cuadrados del primer piso. |
| $2ndFlrSF_i \geq 0, 2ndFlrSF_i \in \mathbb{Z}$ | Pies cuadrados del segundo piso. |
| $LowQualFinSF_i \geq 0, LowQualFinSF_i \in \mathbb{Z}$ | Pies cuadrados terminados de baja calidad (todos los pisos). |
| $GrLivArea_i \geq 0, GrLivArea_i \in \mathbb{Z}$ | Superficie habitable sobre el nivel del suelo (pies cuadrados). |
| $BsmstFullBath_i \geq 0, BsmstFullBath_i \in \mathbb{Z}$ | Baños completos en sótano. |
| $BsmstHalfBath_i \geq 0, BsmstHalfBath_i \in \mathbb{Z}$ | Medios baños del sótano. |
| $FullBath_i \geq 0, FullBath_i \in \mathbb{Z}$ | Baños completos sobre el nivel del suelo. |
| $HalfBath_i \geq 0, HalfBath_i \in \mathbb{Z}$ | 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. |

10 Costos

Se presenta la siguiente tabla con los costos de los distintos tipos de estilos, materiales y otros adicionales de la vivienda a través de investigación bibliográfica. Se intento que los valores obtenidos fueran representativos de Estados Unidos. De igual manera son valores aproximados por lo tanto puede haber subestimación y sobreestimación en algunos casos.

Para pasos futuros queda como desafío hacer estos valores lo más realistas posibles mediante intervalos de confianza y ver como cambian los resultados adaptando los distintos costos.

| Costo | Descripción |
|---|--|
| Construcción $C_{construcción} = \$230$ | "El costo promedio de construir una casa es de \$180 a \$280 por pie cuadrado para una casa básica de construcción con acabados estándar" (Cramer, 2025). |
| Ampliación $C_c^{30} = \$130.70$ $C_c^{20} = \$106.49$ $C_c^{10} = \$82.28$ | "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). |

| | |
|--|--|
| Demolición $C_{demolición} = \$1.65$ $C_{demolición}^{roof} = \$10,850$ | <p>”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).</p> <ul style="list-style-type: none"> • ”El costo promedio de retirar y reemplazar un techo es de \$5,700 a \$16,000” (Cramer, 2025). |
| Utilities: C_u $C_{AllPub} = \$31,750$ $C_{NoSewr} = \$39,500$ $C_{NoSeWa} = \$22,000$ $C_{ELO} = \$20,000$ | <p>Costos promedios de los servicios públicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Electricity: \$10,000–\$30,000 • Gas: \$500–\$3,500 • Water (Septic Tank): \$5,000–\$30,000 • Water: \$1,000–\$6,000 • Sewer: \$1,500–\$11,000 <p>(Big How, 2025).</p> |

| | |
|--|---|
| RoofMatl: C_m $C_{ClyTile} = \$17,352$ $C_{CompShg} = \$20,000$ $C_{Membran} = \$8,011.95$ $C_{Metal} = \$11,739$ $C_{Roll} = \$7,600$ $C_{Tar\&Grv} = \$8,550$ $C_{WdShake} = \$22,500$ $C_{WdShngl} = \$19,500$ | <p>Costos de los materiales del techo promedio</p> <ul style="list-style-type: none"> • ClyTile: "Un techo de tejas cuesta un promedio de \$17,352" (HomeAdvisor, 2025). • 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). • Membran: "¿Cuánto cuesta un techo de membrana? \$6536.5 - \$9487.4" (Planer5D, s.f.). • Metal: "¿Cuánto cuesta un techo de metal en 2025? Rango normal: \$5,739 - \$17,739" (HomeAdvisor, 2025). • 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). • Tar&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). • WdShake: "En promedio, los propietarios pueden esperar pagar entre \$15,000 y \$30,000 por la instalación de un techo de tejas de cedro en una casa de tamaño estándar" (ShakeGuys, 2024). • WdShngl: "¿Cuánto cuestan las tejas de cedro? Costo promedio nacional: \$13,500-\$25,500" (Straughan, 2025). |
|--|---|

| | |
|---|--|
| RoofMat12 $C_{ClyTile} = \$11.885$ $C_{CompShg} = \$6$ $C_{Membran} = \$6$ $C_{Metal} = \$8.9911$ $C_{Roll} = \$3.75$ $C_{Tar\&Grv} = \$5.5$ $C_{WdShake} = \$11$ $C_{WdShngl} = \$6.3513$ | <p>Costos de los materiales del techo por pie cuadrado</p> <ul style="list-style-type: none"> • ClyTile: "Los techos de tejas de arcilla cuestan entre \$9.72 y \$14.05 por pie cuadrado" (Was-son, 2025) • 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). • Membran: "Costo promedio de un techo de membrana: \$4 a \$8 por pie cuadrado" (Wallender, 2025). • Metal: "Costo de instalación de techos de metal \$899,11 por 100 pies cuadrados (Rango: \$778,88 - \$1.019,34)" (Pro Matcher, s.f.). • 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). • Tar&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). • WdShake: Un techo de tejas de cedro cuesta en promedio entre \$7 y \$15 por pie cuadrado" (Cramer, 2024). • WdShngl: "Techos de tejas de madera \$635,13 por 100 pies cuadrados" (Pro Matcher, s.f.) |
|---|--|

| | |
|--|---|
| Exterior1st y Exterior2nd: C_{e_1}, C_{e_2} | Costos de los materiales del revestimiento exterior de la casa promedio |
| $C_{AsbShng} = \$19,000$ | |
| $C_{AsphShn} = \$22,500$ | |
| $C_{BrkComm} = \$26,000$ | <ul style="list-style-type: none"> 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&L Team, 2024). |
| $C_{BrkFace} = \$22,000$ | |
| $C_{CBlock} = \$10,300$ | |
| $C_{CemntBd} = \$14,674$ | |
| $C_{HdBoard} = \$21,300$ | |
| $C_{ImStucc} = \$16,500$ | |
| $C_{MetalSd} = \$11,196$ | |
| $C_{Other} = \$21,765.3125$ | |
| $C_{Plywood} = \$3,461.81$ | |
| $C_{PreCast} = \$17,625$ | |
| $C_{Stone} = \$106,250$ | |
| $C_{Stucco} = \$5,629$ | |
| $C_{VinylSd} = \$17,410$ | |
| $C_{WdSdng} = \$12,500$ | |
| $C_{WdShing} = \$21,900$ | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| | |
|--|--|
| ExterQual y ExterCond: C_{Exter} $C_{Exter,Ex} = \$106,250$ $C_{Exter,Gd} = \$22,833.06$ $C_{Exter,TA} = \$18,833.75$ $C_{Exter,Fa} = \$14,558$ $C_{Exter,Po} = \$7,646.7025$ | <p>Se dividió en quintiles debido a que eran 5 categorías</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ex: Stone • Gd: Other, WdShing, BrkFace, AsphShn, BrkComm • TA: VinylSd, PreCast, AsbShng, HdBoard • Fa: WdSdng, ImStucc, CemntBd • Po: Plywood, Stucco, CBlock, MetalSd, <p>Esta parte se realizó en base a los valores encontrados en la casilla anterior para tener un criterio por el cual decidir. Los de mayor costo tendrán una mejor calidad y los de menor costo menor calidad. Esto se debe a que no hay un criterio para considerar que es considerado bueno o malo a partir de la base de datos.</p> |
|--|--|

Exterior pies!!! $C_{AsbShng} = \$11.5$ $C_{AsphShn} = \$8.5$ $C_{BrkComm} = \$7$ $C_{BrkFace} = \$15$ $C_{CBlock} = \$22.5$ $C_{CemntBd} = \$9.5$ $C_{HdBoard} = \$9.5$ $C_{ImStucc} = \$8.5$ $C_{MetalSd} = \$11.5$ $C_{Other} = \$12.35$ $C_{Plywood} = \$4.75$ $C_{PreCast} = \$37.5$ $C_{Stone} = \$19.75$ $C_{Stucco} = \$7.5$ $C_{VinylSd} = \$6.315$ $C_{WdSdng} = \$10$ $C_{WdShing} = \$8.315$

- 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" (W&L Team, 2024)

- AsphShn: "El revestimiento de tejas cuesta entre \$6 y \$11 por pie cuadrado" (Simms, 2024).

- BrkComm: El revestimiento de ladrillo (...) en promedio, el precio por pie cuadrado oscila entre \$4.00 y \$10.00" (Texture Plus, s.f.).

- BrkFace: "Revestimiento de ladrillo cara vista, cuesta entre \$12 y \$18 por pie cuadrado" (Carlson, 2025).

- CBlock: "Construir un muro de bloques de hormigón cuesta entre \$60 y \$240 por pie lineal o entre \$15 y \$30 por pie cuadrado" (Noel, 2023).

- CemntBd: "El costo promedio del revestimiento de fibrocemento oscila entre \$5 y \$14 por pie cuadrado" (Minasian-Koniecz, 2025).

- HdBoard: "El precio del revestimiento de tableros Hardie oscila entre \$6 y \$13 por pie cuadrado" (Fann, 2025).

- ImStucc: "El estuco sintético, o EIFS tiene un rango de costo por pie cuadrado de \$7 - \$10" (Angi, 2025).

- MetalSd: "¿Cuánto cuesta el

| | |
|---|---|
| <p>ExterQual y Extercond en base a pies cuadrados</p> <p>$C_{Exter,Ex} = \\$26.583$</p> <p>$C_{Exter,Gd} = \\12.5875</p> <p>$C_{Exter,TA} = \\$9.667$</p> <p>$C_{Exter,Fa} = \\8.20375</p> <p>$C_{Exter,Po} = \\$6.022$</p> | <p>Se dividio en quintiles por tener 5 categorias</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ex: Stone, CBlock, PreCast • Gd: AsbShng, MetalSd, Other, BrkFace • TA: CemntBd, HdBoard, WdSdng • Fa: Stucco, ImStucc, AsphShn, WdShing • Po: Plywood, VinylSd, BrkComm <p>Esta parte se realizó en base a los valores encontrados en la casilla anterior para tener un criterio por el cual decidir. Los de mayor costo tendran una mejor calidad y los de menor costo menor calidad. Esto se debe a que no hay un criterio para considerar que es considerado bueno o malo a partir de la base de datos.</p> |
|---|---|

| | |
|--|---|
| MasVnrType: C_t $C_{BrkCmn} = \$1.21$ $C_{BrkFace} = \$15$ $C_{CBlock} = \$22.5$ $C_{None} = 0$ $C_{Stone} = \$27.5$ | <p>Costos del tipo de revestimiento de mampostería en pies cuadrados</p> <ul style="list-style-type: none"> • BrkCmn: "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). • BrkFace: "Revestimiento de ladrillo cara vista, cuesta entre \$12 y \$18 por pie cuadrado instalado". (Carlson, 2025) • CBlock: "Un muro de bloques de hormigón cuesta entre \$60 y \$240 por pie lineal o entre \$15 y \$30 por pie cuadrado" (Noel, 2023). • Stone: "Costo promedio por pie cuadrado de revestimiento de piedra \$10 – \$45". (Cramer, 2024). <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> |
|--|---|

| | |
|--|--|
| Foundation $C_{BrkTil} =$ $C_{CBlock} = \$12$ $C_{PConc} = \$10$ $C_{Slab} = \$10$ $C_{Stone} = \$23.5$ $C_{Wood} = \$40$ | Costo de cimentación por pie cuadrado <ul style="list-style-type: none"> • BrkTil: • CBlock: "Tipo de cimentación bloque (cemento o ceniza) promedio por pie cuadrado es de \$9-\$15" (HomeAdvisor, 2025). • PConc: "El costo de una cimentación de losa o monolítica varía entre \$6 y \$14 por pie cuadrado" (USA Estimators, s.f.). • Slab: "En Estados Unidos, los propietarios de viviendas pagan entre \$6 y \$14 por pie cuadrado por una losa de concreto" (Miller, s.f.). • Stone: "Los cimientos de piedra cuestan entre \$12 y \$35 por pie cuadrado" (Nuance Energy, s.f.). • 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). |
|--|--|

| | |
|--|--|
| <p>Heating: C_h</p> <p>$C_{Floor} = \\$1,773$</p> <p>$C_{GasA} = \\$5,750$</p> <p>$C_{GasW} = \\$8,500$</p> <p>$C_{Grav} = \\$6,300$</p> <p>$C_{OthW} = \\$4,900$</p> <p>$C_{Wall} = \\$3,700$</p> | <p>Costos de calefacción</p> <ul style="list-style-type: none"> • Floor: "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.). • 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). • GasW: "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. • Grav: "En promedio, reemplazar un horno de gravedad cuesta \$6,300." (Grant, 2025). • 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). • Wall: "Total típico \$1,400–\$6,000 para una instalación sencilla de un horno de pared eléctrico o con ventilación directa". (Langer, 2025). |
|--|--|

| | |
|--|---|
| HeatingQC: C_{hqC} $C_{h,Ex} = \$10,000$ $C_{h,Gd} = \$8,250$ $C_{h,TA} = \$6,500$ $C_{h,FA} = \$5,125$ $C_{h,Po} = \$3,750$ | Costos de calidad de la calefacción <ul style="list-style-type: none"> • Ex(5): Sistemas de alta gama: \$8,000–\$12,000+. • Gd(4): Interpolada (TA/Ex). • TA(3): Sistemas de gama media: \$5,000–\$8,000. • FA(2): Interpolada (Po/TA). • Po(1): Sistemas básicos: \$2,500–\$5,000. (Staton, s.f.). |
| CentralAir $C_{CentralAir} = \$5,362$ | Costo aire acondicionado "La mayoría de los propietarios pagaron un promedio de \$5,362." (Manta, 2025). |
| Electrical: C_e $C_{SBrkr} = \$1,587.5$ $C_{FuseA} = \$2,500$ $C_{FuseF} = \$1,675$ $C_{FuseP} = \$850$ $C_{Mix} = \$1,075$ | Costos de sistema electrico <ul style="list-style-type: none"> • SBrkr: "El costo de recablear una casa puede oscilar entre \$603 y \$2,592" (Kasch, 2025). • FuseA: "Un panel eléctrico varía entre \$850 y \$2,500" (Grupa, 2024). • FuseF: "Un panel eléctrico varía entre \$850 y \$2,500" (Grupa, 2024). • FuseP: "Un panel eléctrico varía entre \$850 y \$2,500" (Grupa, 2024). • Mix: "El costo de un sub-panel eléctrico varía entre \$400 y \$1,750" (Wallender, 2024). Esta variable al ser tan detallada no se encontro exactamente cada caso. Es por esto, que se decidio que se hara con información general y aproximada. |

| | |
|---|--|
| MiscFeature $C_{Elev} = \$48,000$ $C_{Gar2} = \$32,100$ $C_{Shed} = \$5,631$ $C_{TenC} = \$15,774$ | <p>Costos de características diversas no cubiertas en otras categorías</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevator: "Costo promedio nacional \$48,000." (Cramer, 2023). • 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). • 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). REVISAAAR • Tennis court: "Estas canchas de tenis cuestan un promedio de \$15,774." (Moore, 2023). |
| PavedDrive : C_d $C_Y = \$4,908$ $C_P = \$3,354$ $C_N = \$1,800$ | <p>Costo de entrada pavimentada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Y: "El costo promedio de pavimentar una entrada para autos es de \$4,908" (HomeAdvisor, 2025). • P: Se decidió sacar un promedio entre ambos extremos, ya que no se encontró un costo para una entrada parcialmente pavimentada. • N: "Las entradas de grava cuestan entre \$500 y \$3,500 , con un promedio nacional de \$1,800" (Ayer, 2025). |
| Basement $C_{Bsmt} = \$15$ | <p>"El costo por pie cuadrado para terminar un sótano varía entre \$7 y \$23." (Home Advisor, 2025).</p> |

| | |
|--|---|
| BasementCond: $C_{BsmtCond}$ $C_{BsmtCond,Ex} = \$62,500$ $C_{BsmtCond,Gd} = \$51,750$ $C_{BsmtCond,TA} = \$41,000$ $C_{BsmtCond,Fa} = \$30,500$ $C_{BsmtCond,Po} = \$20,000$ $C_{BsmtCond,Na} = 0$ | <p>Costo de la calidad del sótano</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ex(5): "De primera calidad \$50,000-\$75,000". • Gd(4): Interpolada (Ex/TA.) • TA(3): "Gama media \$32,000-\$50,000". • Fa(2): Interpolada (TA/Po) • Po(1): "Acabado básico \$15,000-\$25,000". <p>(FindPro, s.f.). Encontrar estas características tan específicas es de gran complejidad así que lo haremos en base al acabado que tienen.</p> |
|--|---|

| | |
|---|---|
| BsmtFinType1 y BsmtFinType2: $C_{BstmType}$ $C_{BstmType, GLQ} = \$75,000$ $C_{BstmType, ALQ} = \$53,500$ $C_{BstmType, BLQ} = \$32,000$ $C_{BstmType, Rec} = \$23,500$ $C_{BstmType, LwQ} = \$15,000$ $C_{BstmType, Unf} = \$11,250$ $C_{BstmType, NA} = 0$ | Costos de calidad del sótano terminado <ul style="list-style-type: none"> • GLQ(6): "El costo de terminar un sótano ronda los \$32,000 , con un rango promedio de \$15,000 a \$75,000" (Hoffman, 2025). • ALQ(5): Interpolada (GLQ/BLQ) • BLQ(4): "El costo de terminar un sótano ronda los \$32,000 , con un rango promedio de \$15,000 a \$75,000" (Hoffman, 2025). • Rec(3): Interpolada (BLQ/LwQ) • LwQ(2): "El costo de terminar un sótano ronda los \$32,000 , con un rango promedio de \$15,000 a \$75,000" (Hoffman, 2025). • Unf(1): "Terminar parcialmente un sótano cuesta entre \$2,500 y \$20,000" (Carlson, 2025). <p>Para este caso encontrar distintos tipos de sótano basado en su calidad de cuartos habitables no fue posible encontrarlos de manera directa. Asi que decidimos hacerlo en base a el rango de un sótano terminado.</p> |
| Construcción Kitchen $C_{kitchen} = \$200$ | Costo promedio de construir una cocina en pies cuadrados <p>"Instalar una cocina nueva cuesta entre \$5,000 y \$125,000 , con un costo promedio de \$65,000 . El costo por pie cuadrado varía entre \$100 y \$300" (HomeAdvisor, 2025).</p> |

| | |
|--|--|
| KitchenQual: C_k $C_{k,Ex} = \$180,000$ $C_{k,Gd} = \$111,250$ $C_{k,TA} = \$42,500$ $C_{k,Fa} = \$27,750$ $C_{k,Po} = \$13,000$ | <ul style="list-style-type: none"> • Ex(5): "Costo de remodelación de cocina de alta gama. Una remodelación importante de su cocina costará entre \$60,000 y \$300,000". (Billock, 2024). • Gd(4): Interpolada (Ex/Ta) por falta de información. • TA(3): "Costo de remodelación de cocina de gama media. Una remodelación moderada cuesta entre \$25,000 y \$60,000". (Billock, 2024). • FA(2): Interpolada (Ta/Po) por falta de información. • Po(1): "Costo de remodelación básica de la cocina. Una remodelación menor puede costar entre \$1,000 y \$25,000". (Billock, 2024). |
| Construcción HalfBath $C_{halfbath,c} = \$10,000$ | "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). |
| Construcción FullBath $C_{Fullbath,c} = \$25,000$ | "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). |
| Construcción Bedroom $C_{Bedroom} = \$325$ | "El costo de añadir una habitación varía entre \$150 y \$500 o más por pie cuadrado" (Farmer, 2025). |

| | |
|--|--|
| Remodelación Bath $C_{Bath,r} = \$650$ | <ul style="list-style-type: none"> • "Conversión básica/de gama baja: \$250 – \$450 por pie cuadrado". (Cedreo, 2025). • "Ampliación de baño de gama media: \$500 – \$800 por pie cuadrado". (Cedreo, 2025). • "Lujo: \$850 – \$1200+ por pie cuadrado". (Cedreo, 2025). <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> |
| FireplaceQu: C_f $C_{f,Ex} = \$4,550$ $C_{f,Gd} = \$3,525$ $C_{f,TA} = \$2,500$ $C_{f,Fa} = \$2,000$ $C_{f,Po} = \$1,500$ $C_{f,Na} = 0$ | <p>Costos de calidad de chimenea</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ex: "Una chimenea de mampostería cuesta entre \$3,500 y \$5,600" (Grupa, 2024). • Gd: Interpolada (Ex/TA) • TA: "Una chimenea de ladrillo prefabricada cuesta entre \$2,000 y \$3,000" (George Stone, 2024). • Fa: Interpolada (TA/Po) • Po(1): "Las estufas de leña básicas de hierro fundido pueden costar entre \$1,000 y \$2,000" (Royster, s.f.). <p>No tenemos información sobre el costo de chimeneas en base a la ubicación que se encuentran en la vivienda. Es por esto que decidimos hacerlo en base a los materiales y no al lugar en donde se encuentran ubicadas.</p> |

| | |
|---|--|
| GarageQual y GarageCond: C_g $C_{g,Ex} = \$51,659$ $C_{g,Gd} = \$37,849$ $C_{g,TA} = \$24,038$ $C_{g,Fa} = \$14,113$ $C_{g,Po} = \$4,188$ $C_{g,Na} = 0$ | Costos de calidad del garaje <ul style="list-style-type: none"> • Ex(5): Costo de gama alta \$51,659. • Gd(4): Interpolada (Ex/TA) • TA(3): Costo promedio \$24,038. • Fa(2): Interpolada (TA/Po) • Po(1): Costo de gama baja \$4,188. (Carthan, 2025). |
| GarageFinish: C_{GFin} $C_{GFin,Fin} = \$24,038$ $C_{GFin,RFin} = \$20,769$ $C_{GFin,Unf} = \$17,500$ $C_{GFin,Na} = 0$ | Costo de acabado del garaje <ul style="list-style-type: none"> • Fin: "Costo promedio \$24,038" (Carthan, 2025). • RFin: Se obtendra en base a los otros dos valores interpolando. • Unf: "Un garaje sin terminar puede costar entre \$15,000 y \$20,000" (Cutter Construction, s.f.). |
| GarageArea $C_{GarageArea} = \$47.5$ | "¿Cuánto cuesta construir un garaje? \$35 – \$60 costo por pie cuadrado" (Grupa, 2025). |
| OpenPorchSF $C_{OpenPorch} = \$77.5$ | Costo del porche abierto en pies cuadrados. <ul style="list-style-type: none"> • "Costo promedio de un porche es de \$23 a \$132 por pie cuadrado" (Africa, 2024). |
| EnclosedPorch $C_{EnclosedPorch} = \$80$ | Costo del porche cerrado en pies cuadrados. <ul style="list-style-type: none"> • "Un porche cubierto cuesta entre \$40 y \$120 por pie cuadrado" (HomeAdvisor, 2025). |
| 3SsnPorch $C_{3SsnPorch} = \$157.5$ | Costo del porche de tres estaciones en pies cuadrados. <ul style="list-style-type: none"> • "Porche multiestacional \$115–\$200" (Weimert, 2025). |

| | |
|---|---|
| ScreenPorch $C_{ScreenPorch} = \$72.5$ | Costo del porche con mosquitero en pies cuadrados. <ul style="list-style-type: none"> • "Un porche con mosquitero cuesta entre \$25 y \$120 por pie cuadrado" (HomeAdvisor, 2025). |
| WoodDeckSF $C_{WoodDeck} = \$50$ | "Costo promedio por pie cuadrado de terraza instalada: entre \$20 y \$80 por pie cuadrado" (He, 2025). |
| Pool: C_p $C_{PoolArea} = \$88$ $C_{Pool,Ex} = \$135,000$ $C_{Pool,Gd} = \$96,333$ $C_{Pool,TA} = \$57,667$ $C_{Pool,Fa} = \$19,000$ $C_{Pool,NA} = 0$ | <ul style="list-style-type: none"> • "El presupuesto promedio es de \$88 por pie cuadrado para una piscina enterrada" (Loveland, 2025). • Ex(4): "Una piscina grande, personalizada, con características de lujo y materiales de alta gama podría costar más de \$135,000" (Loveland, 2025). • Gd(3): Interpolada. • TA(2): Interpolada. • Fa(1): "Una piscina pequeña y básica, hecha con materiales económicos, podría costar tan solo \$19,000" (Loveland, 2025). |

| | |
|---|---|
| Fence: C_{Fence} $C_{Fence} = \$40$ $C_{Fence,GdPrv} = \$6,300$ $C_{Fence,MnPrv} = \$4,700$ $C_{Fence,GdWo} = \$3,232$ $C_{Fence,MnWw} = \$2,400$ $C_{Fence,NA} = 0$ | <ul style="list-style-type: none"> • "Una cerca nueva cuesta entre \$20 y \$60 por pie lineal" (Grupa, 2025)." <p>"Para las cercas de privacidad, las dos alturas estándar son 6 pies y 8 pies." (Moore, 2025).</p> <ul style="list-style-type: none"> • GdPrv: "\$6,300 por una cerca de 8 pies de altura" (Moore, 2025). • MnPrv: "Pagar aproximadamente \$4,700 por una cerca de 6 pies de altura" (Moore, 2025). • GdWo: "El propietario promedio en Estados Unidos gasta aproximadamente \$3232 en instalar una cerca de madera" (Dylan, 2025). • MnWw: "Precios de cercas de alambre: costo promedio nacional \$2,400" (Graham, 2025). |
|---|---|

11 Bibliografía

<https://www.handoff.ai/construction-costs/install-vinyl-siding>
<https://www.supermoney.com/how-much-do-porches-cost>
<https://www.fixr.com/costs/wire-fence>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-install-wood-fence.htm> <https://homeguide.com/costs/tand-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>
<https://www.lawnstarter.com/blog/cost/gravel-driveway-price/: :text=Gravel>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-pave-driveway.htm>
<https://homeguide.com/costs/fencing-prices: :text=New>
<https://homeguide.com/costs/fence-installation-cost: :text=Obtener>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-privacy-fence-cost.htm> <https://www.homeadvisor.com/cost/ki>
<http://angi.com/articles/how-much-does-privacy-fence-cost.htm>
<https://www.angi.com/articles/wood-burning-stove-installation-cost.htm>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-remodel-garage.htm>
<https://homeguide.com/costs/cost-to-build-a-house>
<https://www.textureplus.com/brick-vs-brick-veneer/: :text=Brick>
<https://todayshomeowner.com/roofing/cost/clay-roof-cost/>
<https://www.thespruce.com/basic-types-and-cost-of-roofing-materials-1822016: :text=>
<https://homeguide.com/costs/cedar-shake-roof-cost?>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-install-stucco-siding.htm>
<https://www.vintagecast.com/how-much-does-precast-concrete-cost-per-sf/>
<https://planner5d.com/costs/hardboard-siding-cost?>
<https://homeguide.com/costs/cost-to-build-a-garage?utm>
<https://www.coohom.com/in/article/current-plywood-rates-per-square-foot?>

<https://planner5d.com/costs/wood-shingle-siding-cost>
<https://homeguide.com/costs/cinder-block-wall-cost: :text=in>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-replace-vinyl-fiber-cement-siding.htm>
<https://estimators.us/foundation-cost-per-square-foot/>
<https://homeguide.com/costs/brick-prices: :text=Red>
<https://nuanceenergy.com/solar-blog/stone-foundations-for-solar-arrays-cost-pros-cons?>
<https://cutterconstructionllc.com/unveiling-the-cost-implications-of-adding-a-garage-to-your-home-a-comprehensive-guide/>
<https://www.thisoldhouse.com/garages/garage-remodel-cost>
<https://callstaton.com/how-much-does-a-new-heating-system-cost/>
<https://firewoodguide.info/the-franklin-stove-a-review-of-work-and-costs/>
<https://www.homeadvisor.com/cost/garages/install-a-driveway/>
<https://homeguide.com/costs/metal-siding-cost>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-gravel-driveway-cost.htm>
<https://homeguide.com/costs/average-cost-to-tear-off-and-replace-roof?>
<https://www.homeadvisor.com/cost/roofing/install-replace-tile-roof/>

<https://planner5d.com/costs/membrane-roofing-cost>
<https://www.homeadvisor.com/cost/roofing/metal-roof-installation/>
<https://shakeguys.com/blog/cedar-shake-roof-cost/>
<https://todayshomeowner.com/roofing/cost/cedar-shingles-cost/>
<https://www.billriganroofing.com/blog/how-much-does-asphalt-shingle-roof-cost>
<https://homeguide.com/costs/cost-to-finish-a-basement>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-finish-basement.htm>
<https://www.homeadvisor.com/cost/siding/stucco-siding/>
<https://www.angi.com/articles/stone-siding-cost.htm>
<https://www.thisoldhouse.com/siding/vinyl-siding-cost>
<https://homeguide.com/costs/cinder-block-wall-cost>: :text=Costo

<https://homeguide.com/costs/cedar-siding-cost>
<https://www.angi.com/articles/wood-siding-costs.htm>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-siding-cost-replace.htm>
<https://homeguide.com/costs/house-remodeling-cost>
<https://www.mdpi.com/2813-2203/3/1/3>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-build-cinder-block-wall.htm>
<https://www.angi.com/articles/cost-of-hardie-board-siding.htm>
<https://articles1.homeadvisor.com/synthetic-versus-traditional-stucco-siding>
<https://www.angi.com/articles/stone-siding-cost.htm>
<https://www.angi.com/articles/knob-and-tube-replacement-cost.htm>
<https://homeguide.com/costs/electrical-wiring-cost>
<https://www.angi.com/articles/how-much-does-it-cost-rewire-house.htm>
<https://homeguide.com/costs/cost-to-replace-electrical-panel>
<https://www.thespruce.com/cost-to-replace-an-electrical-panel-8645098>
<https://www.homeadvisor.com/cost/outdoor-living/build-a-porch>
<https://www.angi.com/articles/cost-of-porch.htm>
<https://georgestones.com/es/how-much-does-an-outdoor-fireplace-cost>
<https://www.angi.com/articles/cost-of-porch.htm>
<https://www.homeadvisor.com/cost/outdoor-living/build-a-porch>
<https://www.ergeon.com/blog/post/how-much-does-a-deck-cost>
<https://www.angi.com/articles/hardie-board-vs-cement-board.htm>
<https://homeguide.com/costs/wood-siding-cost-to-install-or-replace>
<https://homeguide.com/costs/brick-veneer-cost>
<https://www.angi.com/articles/how-much-shingle-siding-cost.htm>
<https://www.vintagecast.com/how-much-does-precast-concrete-cost-per-sf>

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