



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
INSTITUTO DE MATEMÁTICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN: MODELACIÓN CON ECUACIONES DIFERENCIALES

**Modelo matemático aplicado a prefactibilidades financieras  
de proyectos inmobiliarios.**

TESÍS PREGRADO EN MATEMÁTICAS

**LUKAS MAURICIO RESTREPO SUÁREZ**

**Asesor:** Msc. William Albeiro Alvarez Valle.

**Co-asesor:** Ing. Carlos Fernando Hurtado Nuñez de Prada.

Carmen de Viboral, 2019

---



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**  
1 8 0 3

*Universidad de Antioquia*



Universidad de Antioquia  
Instituto de Matemáticas  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Grupo de Investigación: Modelación con Ecuaciones Diferenciales

**Modelo matemático aplicado a prefactibilidades financieras  
de proyectos inmobiliarios.**

TESÍS PREGRADO EN MATEMÁTICAS

**LUKAS MAURICIO RESTREPO SUÁREZ**

**Advisor:** Msc. William Albeiro Alvarez Valle.

**Co-advisor:** Ing. Carlos Fernando Hurtado Nuñez de Prada.

Aprobado por

Fecha:.

*(Firma)*

*(Firma)*

*(Firma)*

.....  
Msc. William Albeiro Alvarez Valle.



## Abstract

---

Basándonos en el hecho de que cada proyecto inmobiliario presenta eventos que pueden generar sobrecostos o exceso de tiempo de desarrollo, se estudian los conceptos generales implicados en la creación de prefactibilidades inmobiliarias, lo que permite generar una clasificación jerárquica en términos de costo y tiempo de los análisis asociados y sus actividades. Desde la modelación se obtiene una metodología para la estimación numérica, que, a partir de criterios expertos, permite medir o clasificar eventos que impactan el costo o tiempo en cada una de las actividades relacionadas a los análisis generando una probabilidad de ocurrencia de estos eventos en términos de los impactos. El modelo obtenido se programa para permitir una simulación que da como resultado los posibles sobrecostos y excesos de tiempo, con base a la información almacenada donde se tienen en cuenta todos los eventos de impacto por variable. Esta simulación es dinámica y permite generar variaciones de las entradas para obtener diversos escenarios simulando comportamientos del proyecto.

## Palabras clave

Factibilidad financiera, proyecto inmobiliario, modelo matemático.



*Agradezco a W.A.A, C.F.H, J.E.C, D.F.C. por el conocimiento, apoyo y paciencia durante el tiempo que tomó elaborar este proyecto.*



# Contents

---

<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>1 Generalidades</b>	<b>15</b>
1.1 $A_J$ Análisis Jurídico . . . . .	16
1.1.1 $A_{J_1}$ Estudio de títulos . . . . .	16
1.1.1.1 $A_{J(1,1)}$ Restitución de tierras . . . . .	17
1.1.1.2 $A_{J(1,2)}$ Falsa tradición por testaferrato . . . . .	17
1.2 $A_T$ Análisis Técnico . . . . .	17
1.2.1 $A_{T_1}$ Vías de Acceso . . . . .	17
1.2.1.1 $A_{T(1,1)}$ Obligaciones o afectaciones viales . . . . .	17
1.2.1.2 $A_{T(1,2)}$ Vías obligadas . . . . .	18
1.2.1.3 $A_{T(1,3)}$ Ampliación o rectificación de las vías . . . . .	18
1.2.2 $A_{T_2}$ Topografía . . . . .	18
1.2.2.1 $A_{T(2,1)}$ Topografía del predio . . . . .	18
1.2.2.2 $A_{T(2,2)}$ Redes subterráneas . . . . .	18
1.2.2.3 $A_{T(2,3)}$ Forma geométrica del terreno . . . . .	18
1.2.2.3.1 Propiedades de posición, extensión y forma . . . . .	19
1.2.2.3.1.1 Posición . . . . .	19
1.2.2.3.1.2 Extensión . . . . .	19
1.2.2.3.1.3 Forma . . . . .	19
1.2.2.3.2 Propiedades métricas, proyectivas y topológicas . . . . .	20
1.2.2.3.2.1 Métricas . . . . .	20
1.2.2.3.2.2 Proyectivas . . . . .	20
1.2.2.3.2.3 Topologías . . . . .	22
1.2.3 $A_{T_3}$ Fuentes de agua . . . . .	22
1.2.4 $A_{T_4}$ Torres de energía . . . . .	22
1.2.5 $A_{T_5}$ Asoleamiento . . . . .	23

1.2.6	$A_{T_6}$	Altura de las unidades . . . . .	23
1.2.7	$A_{T_7}$	Sistema constructivo . . . . .	23
1.2.8	$A_{T_8}$	Estudios especiales . . . . .	24
1.2.9	$A_{T_9}$	Servicios públicos . . . . .	24
1.3	$A_C$	Análisis Comercial . . . . .	24
1.3.1	$A_{C_1}$	Crecimiento económico por región . . . . .	25
1.3.2	$A_{C_2}$	Ambiente político . . . . .	25
1.3.3	$A_{C_3}$	Ambiente legal . . . . .	25
1.3.4	$A_{C_4}$	Ubicación . . . . .	26
1.3.5	$A_{C_5}$	Competencia . . . . .	26
	1.3.5.1	$A_{C_{(5,1)}}$ Competencia en el sector . . . . .	26
	1.3.5.2	$A_{C_{(5,2)}}$ Proyectos similares en el sector . . . . .	26
	1.3.5.3	$A_{C_{(5,3)}}$ Valor $m^2$ . . . . .	26
1.3.6	$A_{C_6}$	Estrategia comercial . . . . .	27
1.3.7	$A_{C_7}$	Estimación de oferta . . . . .	27
	1.3.7.1	$A_{C_{(7,1)}}$ Sobreoferta . . . . .	27
	1.3.7.2	$A_{C_{(7,2)}}$ Burbujas . . . . .	27
	1.3.7.3	$A_{C_{(7,3)}}$ Capacidad de inversión . . . . .	27
1.3.8	$A_{C_8}$	Empleo por estrato . . . . .	27
1.3.9	$A_{C_9}$	Ingresos por estrato . . . . .	27
1.4	$A_N$	Análisis Normativo . . . . .	28
1.4.1	$A_{N_1}$	Dirección del predio . . . . .	28
1.4.2	$A_{N_2}$	POT . . . . .	28
	1.4.2.1	$A_{N_{(2,1)}}$ Restricciones del POT . . . . .	28
	1.4.2.2	$A_{N_{(2,2)}}$ Cambio de POT . . . . .	29
	1.4.2.3	$A_{N_{(2,3)}}$ Uso del Suelo . . . . .	29
1.4.3	$A_{N_3}$	Datos normativos . . . . .	30
	1.4.3.1	$A_{N_{(3,1)}}$ Densidades . . . . .	30
	1.4.3.2	$A_{N_{(3,2)}}$ Índice de ocupación . . . . .	30
	1.4.3.3	$A_{N_{(3,3)}}$ Índice de construcción . . . . .	30
1.4.4	$A_{N_4}$	Anteproyectos y planes parciales . . . . .	31
1.4.5	$A_{N_5}$	Obligaciones determinables . . . . .	31
1.4.6	$A_{N_6}$	Obligaciones indeterminables . . . . .	31
	1.4.6.1	$A_{N_{(6,1)}}$ Ineptitud . . . . .	31

1.4.6.2	$A_{N(6,2)}$	Retraso intencional . . . . .	31
1.4.6.3	$A_{N(6,3)}$	Corrupción . . . . .	31
1.5	$A_R$	Análisis de Riesgos . . . . .	31
1.5.1	$A_{R_1}$	Riesgos Naturales . . . . .	32
1.5.2	$A_{R_2}$	Riesgos Psicosociales . . . . .	32
1.5.3	$A_{R_3}$	Riesgos Financieros . . . . .	32
1.5.4	$A_{R_4}$	Riesgos de Diseño . . . . .	32
1.5.5	$A_{R_5}$	Riesgos Operacionales . . . . .	32
1.5.6	$A_{R_6}$	Riesgos Técnicos . . . . .	32
1.5.6.1	$A_{R(6,1)}$	Suelos y contenciones . . . . .	32
1.5.6.2	$A_{R(6,2)}$	Cambios de obra . . . . .	32
1.5.6.3	$A_{R(6,3)}$	Diseños arquitectónicos . . . . .	33
1.5.6.4	$A_{R(6,4)}$	Cálculos constructivos . . . . .	33
1.5.7	$A_{R_7}$	Riesgos de Construcción . . . . .	33
1.5.7.1	$A_{R(7,1)}$	Clima . . . . .	33
1.5.7.2	$A_{R(7,2)}$	Suministros . . . . .	33
1.5.7.3	$A_{R(7,3)}$	Mala Construcción . . . . .	33
1.5.8	$A_{R_8}$	Riesgos en la Calidad . . . . .	34
1.5.8.1	$A_{R(8,1)}$	Conformidad del Proyecto . . . . .	34
1.5.8.2	$A_{R(8,2)}$	Conformidad de Materiales . . . . .	34
1.5.9	$A_{R_9}$	Riesgos Exógenos . . . . .	34
1.5.9.1	$A_{R(9,1)}$	Entidades publicas . . . . .	34
1.5.9.2	$A_{R(9,2)}$	Entidades privadas . . . . .	34
1.5.9.3	$A_{R(9,3)}$	Movimiento de redes . . . . .	34
1.5.9.4	$A_{R(9,4)}$	Permisos ambientales . . . . .	34
1.5.9.5	$A_{R(9,5)}$	Permisos de transito . . . . .	34
1.5.9.6	$A_{R(9,6)}$	Registro y catastro . . . . .	34
1.6	$A_F$	Análisis Financiero . . . . .	35
1.6.1	$A_{F_1}$	Capital inicial . . . . .	35
1.6.2	$A_{F_2}$	Generación de Recursos . . . . .	36
1.6.2.1	$A_{F(2,1)}$	Aportes . . . . .	36
1.6.2.2	$A_{F(2,2)}$	Ventas . . . . .	36
1.6.2.3	$A_{F(2,3)}$	Renta . . . . .	36
1.6.2.4	$A_{F(2,4)}$	Inventario . . . . .	36

1.6.3	$A_{F_3}$	Compra o negociación del lote o terreno . . . . .	37
1.6.4	$A_{F_4}$	Costos directos de construcción . . . . .	37
1.6.4.1	$A_{F_{(4,1)}}$	Costos de presupuestación . . . . .	37
1.6.4.2	$A_{F_{(4,2)}}$	Costos de calidad . . . . .	37
1.6.4.3	$A_{F_{(4,3)}}$	Costos de diseño . . . . .	37
1.6.5	$A_{F_5}$	Costos indirectos de construcción . . . . .	37
1.6.5.1	$A_{F_{(5,1)}}$	Honorarios Profesionales . . . . .	37
1.6.5.2	$A_{F_{(5,2)}}$	Costos administrativos y comerciales . . . . .	38
1.6.5.3	$A_{F_{(5,3)}}$	Costos financieros y bancarios . . . . .	38
1.6.5.4	$A_{F_{(5,4)}}$	Impuestos, tributación y escrituración . . . . .	38
1.6.5.5	$A_{F_{(5,5)}}$	Pagos de operación . . . . .	38
1.6.6	$A_{F_6}$	Gastos . . . . .	38
1.6.6.1	$A_{F_{(6,1)}}$	Gastos de Venta . . . . .	38
1.6.6.2	$A_{F_{(6,2)}}$	Gastos financieros . . . . .	38
1.6.7	$A_{F_7}$	Procedimientos Financieros . . . . .	39
1.6.7.1	$A_{F_{(7,1)}}$	NVP . . . . .	39
1.6.7.2	$A_{F_{(7,2)}}$	ROI . . . . .	39
1.6.7.3	$A_{F_{(7,3)}}$	WACC . . . . .	40
1.6.8	$A_{F_8}$	Ventas menores a la estimación . . . . .	40
1.6.9	$A_{F_9}$	Intereses de Préstamos y Créditos . . . . .	41
<b>2</b>	<b>Matemática</b>		<b>43</b>
2.1	Definiciones . . . . .		43
2.1.1	Conceptualización global de los Análisis $A_X$ en la pre-factibilidad . . . . .		47
2.2	Matemática aplicada a los Análisis $A_X$ . . . . .		47
2.2.1	$A_J$ Matemática y datos del Análisis Jurídico . . . . .		48
2.2.1.1	$A_{J_1} \in \mathbb{P}$ Estudio de títulos . . . . .		48
2.2.1.1.1	$A_{J_{(1,1)}} \in \mathbb{P}$ Restitución de tierras . . . . .		48
2.2.1.1.2	$A_{J_{(1,2)}} \in \mathbb{P}$ Falsa tradición por testaferrato . . . . .		48
2.2.1.2	$\epsilon(A_J) \in \mathbb{P}$ Otros eventos jurídicos no observados . . . . .		48
2.2.2	$A_T \in \mathbb{P}$ Matemática y datos del Análisis Técnico . . . . .		49
2.2.2.1	$A_{T_1} \in \mathbb{P}$ Vías de Acceso . . . . .		49
2.2.2.1.1	$A_{T_{(1,1)}} \in \mathbb{P}$ Obligaciones o afectaciones viales . . . . .		49
2.2.2.1.2	$A_{T_{(1,2)}} \in \mathbb{B}$ Vías obligadas . . . . .		49
2.2.2.1.3	$A_{T_{(1,3)}} \in \mathbb{B}$ Ampliación o rectificación de vías . . . . .		50

2.2.2.2	$A_{T_2} \in \mathbb{P}$ Topografía . . . . .	50
2.2.2.2.1	$A_{T_{(2,1)}} \in \mathbb{P}$ Topografía del predio . . . . .	50
2.2.2.2.2	$A_{T_{(2,2)}} \in \mathbb{B}$ Redes subterráneas . . . . .	50
2.2.2.2.3	$A_{T_{(2,3)}} \in \mathbb{P}$ Forma geométrica del terreno . . . . .	51
2.2.2.3	$A_{T_3} \in \mathbb{P}$ Fuentes de aguas . . . . .	51
2.2.2.4	$A_{T_4} \in \mathbb{P}$ Torres de energía . . . . .	51
2.2.2.5	$A_{T_5} \in \mathbb{P}$ Asoleamiento . . . . .	51
2.2.2.6	$A_{T_6} \in \mathbb{P}$ Altura de las unidades . . . . .	51
2.2.2.7	$A_{T_7} \in \mathbb{P}$ Sistema constructivo . . . . .	52
2.2.2.8	$A_{T_8}$ Estudios especiales . . . . .	52
2.2.2.9	$A_{T_9}$ Servicios públicos . . . . .	52
2.2.2.10	$\epsilon(A_T) \in \mathbb{P}$ Otros eventos técnicos no observados . . . . .	52
2.2.3	$A_C$ Matemática y datos del Análisis Comercial . . . . .	53
2.2.3.1	$A_{C_1}$ Crecimiento económico por región . . . . .	53
2.2.3.2	$A_{C_2}$ Ambiente político . . . . .	53
2.2.3.2.1	$A_{C_{(2,1)}}$ Situación política . . . . .	53
2.2.3.2.2	$A_{C_{(2,2)}}$ Ciclo político por estrato . . . . .	54
2.2.3.3	$A_{C_3}$ Ambiente legal . . . . .	54
2.2.3.4	$A_{C_4}$ Ubicación . . . . .	54
2.2.3.5	$A_{C_5}$ Competencia . . . . .	54
2.2.3.5.1	$A_{C_{(5,1)}}$ Competencia en el sector . . . . .	55
2.2.3.5.2	$A_{C_{(5,2)}}$ Proyectos similares en sector . . . . .	55
2.2.3.5.3	$A_{C_{(5,3)}}$ Valor $m^2$ . . . . .	55
2.2.3.6	$A_{C_6}$ Estrategia comercial . . . . .	55
2.2.3.7	$A_{C_7}$ Estimación de oferta . . . . .	56
2.2.3.7.1	$A_{C_{(7,1)}}$ Sobreoferta . . . . .	56
2.2.3.7.2	$A_{C_{(7,2)}}$ Burbujas . . . . .	56
2.2.3.7.3	$A_{C_{(7,3)}}$ Capacidad de inversión . . . . .	56
2.2.3.8	$A_{C_8}$ Empleo por estrato . . . . .	56
2.2.3.9	$A_{C_9}$ Ingresos por estrato . . . . .	57
2.2.3.10	$\epsilon(A_C) \in \mathbb{P}$ Otros eventos comerciales no observados . . . . .	57
2.2.4	$A_N$ Matemática y datos del Análisis Normativo . . . . .	57
2.2.4.1	$A_{N_1}$ Dirección del predio . . . . .	58
2.2.4.2	$A_{N_2}$ POT . . . . .	58

2.2.4.2.1	$A_{N_{(2,1)}}$	Restricciones del POT . . . . .	58
2.2.4.2.2	$A_{N_{(2,2)}}$	Cambio POT . . . . .	58
2.2.4.2.3	$A_{N_{(2,3)}}$	Uso del suelo . . . . .	59
2.2.4.3	$A_{N_3}$	Datos normativos . . . . .	59
2.2.4.3.1	$A_{N_{(3,1)}}$	Densidades . . . . .	59
2.2.4.3.2	$A_{N_{(3,2)}}$	Índice de construcción . . . . .	59
2.2.4.3.3	$A_{N_{(3,3)}}$	Índice de ocupación . . . . .	59
2.2.4.4	$A_{N_4}$	Anteproyectos y planes parciales . . . . .	60
2.2.4.5	$A_{N_5}$	Obligaciones determinables . . . . .	60
2.2.4.6	$A_{N_6}$	Obligaciones indeterminables . . . . .	60
2.2.4.6.1		Ineptitud . . . . .	61
2.2.4.6.2		Retraso intencional . . . . .	61
2.2.4.6.3		Corrupción . . . . .	61
2.2.4.7	$\epsilon(A_N) \in \mathbb{P}$	Otros eventos normativos no observados . . . . .	61
2.2.5	$A_R$	Matemática y datos del Análisis de Riesgos . . . . .	61
2.2.5.1	$A_{R_1}$	Riesgos naturales . . . . .	62
2.2.5.2	$A_{R_2}$	Riesgos psicosociales . . . . .	62
2.2.5.3	$A_{R_3}$	Riesgos financieros . . . . .	62
2.2.5.4	$A_{R_4}$	Riesgos de diseño . . . . .	63
2.2.5.5	$A_{R_5}$	Riesgos operacionales . . . . .	63
2.2.5.6	$A_{R_6}$	Riesgos técnicos . . . . .	63
2.2.5.6.1	$A_{R_{(6,1)}}$	Suelos y contenciones . . . . .	63
2.2.5.6.2	$A_{R_{(6,2)}}$	Cambios de obra . . . . .	63
2.2.5.6.3	$A_{R_{(6,3)}}$	Mal diseño . . . . .	64
2.2.5.6.4	$A_{R_{(6,4)}}$	Malos cálculos . . . . .	64
2.2.5.7	$A_{R_7}$	Riesgos de construcción . . . . .	64
2.2.5.7.1	$A_{R_{(7,1)}}$	Clima . . . . .	64
2.2.5.7.2	$A_{R_{(7,2)}}$	Suministros . . . . .	65
2.2.5.7.3	$A_{R_{(7,3)}}$	Mala Construcción . . . . .	65
2.2.5.8	$A_{R_8}$	Riesgos en la calidad . . . . .	65
2.2.5.8.1	$A_{R_{(8,1)}}$	Conformidad del proyecto . . . . .	65
2.2.5.8.2	$A_{R_{(8,2)}}$	Conformidad de materiales . . . . .	65
2.2.5.9	$A_{R_9}$	Riesgos exógenos . . . . .	66
2.2.5.9.1	$A_{R_{(9,1)}}$	Entidades publicas . . . . .	66

2.2.5.9.2	$A_{R(9,2)}$	Entidades privadas . . . . .	66
2.2.5.9.3	$A_{R(9,3)}$	Movimiento de redes . . . . .	66
2.2.5.9.4	$A_{R(9,4)}$	Permisos ambientales . . . . .	67
2.2.5.9.5	$A_{R(9,5)}$	Permisos de tránsito . . . . .	67
2.2.5.9.6	$A_{R(9,6)}$	Registro y catastro . . . . .	67
2.2.5.10	$\epsilon(A_R) \in \mathbb{P}$	Otros eventos de riesgo no observados . . . . .	67
2.2.6	$A_F$	Matemática y datos del Análisis Financiero . . . . .	67
2.2.6.1	$A_{F_1}$	Capital inicial . . . . .	68
2.2.6.2	$A_{F_2}$	Generación de recursos . . . . .	68
2.2.6.2.1	$A_{F(2,1)}$	Aportes . . . . .	69
2.2.6.2.2	$A_{F(2,2)}$	Ventas . . . . .	69
2.2.6.2.3	$A_{F(2,3)}$	Renta . . . . .	69
2.2.6.2.4	$A_{F(2,4)}$	Inventario . . . . .	69
2.2.6.3	$A_{F_3}$	Compra o negociación del lote o terreno . . . . .	70
2.2.6.4	$A_{F_4}$	Costos directos de construcción . . . . .	70
2.2.6.4.1	$A_{F(4,1)}$	Costos de Presupuestación . . . . .	70
2.2.6.4.2	$A_{F(4,2)}$	Costos de Calidad . . . . .	70
2.2.6.4.3	$A_{F(4,3)}$	Costos de Diseño . . . . .	71
2.2.6.5	$A_{F_5}$	Costos indirectos de construcción . . . . .	71
2.2.6.5.1	$A_{F(5,1)}$	Honorarios profesionales . . . . .	71
2.2.6.5.2	$A_{F(5,2)}$	Costos administrativos y comerciales . . . . .	71
2.2.6.5.3	$A_{F(5,3)}$	Costos financieros y bancarios . . . . .	72
2.2.6.5.4	$A_{F(5,4)}$	Impuestos, tributación y escrituración . . . . .	72
2.2.6.5.5	$A_{F(5,5)}$	Costos de operación . . . . .	72
2.2.6.6	$A_{F_6}$	Gastos de operación . . . . .	72
2.2.6.6.1	$A_{F(6,1)}$	Gastos de Venta . . . . .	72
2.2.6.6.2	$A_{F(6,2)}$	Gastos Financieros . . . . .	73
2.2.6.7	$A_{F_7}$	Procedimientos financieros . . . . .	73
2.2.6.7.1	$A_{F(7,1)}$	NVP . . . . .	73
2.2.6.7.2	$A_{F(7,2)}$	ROI . . . . .	73
2.2.6.7.3	$A_{F(7,3)}$	WACC . . . . .	74
2.2.6.8	$A_{F_8}$	Ventas menores a la estimación . . . . .	74
2.2.6.9	$A_{F_9}$	Intereses de préstamos y créditos . . . . .	74
2.2.6.10	$\epsilon(A_F) \in \mathbb{P}$	Otros eventos financieros no observados . . . . .	74

<b>3</b>	<b>Modelación</b>	<b>75</b>
3.1	Teoría . . . . .	75
3.1.0.1	Variables Binarias . . . . .	75
3.1.0.2	Distribución de Bernoulli . . . . .	75
3.1.0.3	Estimación por Máxima Verosimilitud . . . . .	79
3.1.1	Inferencia . . . . .	81
3.1.1.1	Bondad de ajuste . . . . .	81
3.1.1.2	Modelos estadísticos . . . . .	82
3.1.1.3	Modelos multinomiales . . . . .	82
3.1.1.4	Modelos aditivos de utilidad aleatoria . . . . .	83
3.1.1.4.1	Modelo Logit Multinomial . . . . .	84
3.1.1.4.2	Modelo Logit Condicional . . . . .	84
3.1.1.4.3	Modelo Logit Nested “Anidado” . . . . .	85
3.1.1.4.4	Probit Multinomial . . . . .	85
3.2	Modelo de Prefactibilidad Inmobiliaria . . . . .	86
3.2.1	Regresión Logística . . . . .	87
<b>4</b>	<b>Algoritmos</b>	<b>89</b>
4.1	Explicación general del código fuente . . . . .	89
4.1.1	Esquema general . . . . .	89
4.1.1.1	Modelo . . . . .	89
4.1.1.2	Controlador . . . . .	90
4.1.1.3	Vista . . . . .	91
4.1.2	Explicación de código por áreas . . . . .	91
4.1.2.1	Área de Proyectos . . . . .	91
4.1.2.2	ProjectController . . . . .	92
4.1.3	Area de Datos . . . . .	95
4.1.3.1	StudyController . . . . .	95
4.1.3.2	ActivityController . . . . .	96
4.1.3.3	SubActivityController . . . . .	96
4.1.4	Area de Modelación . . . . .	97
4.1.4.1	ModelController . . . . .	97
4.1.5	Area de Simulación . . . . .	97
4.1.5.1	MathController . . . . .	97
4.1.5.2	SimulationController . . . . .	97

## CONTENTS

---

<b>5 Simulación</b>	<b>99</b>
<b>6 Conclusiones</b>	<b>103</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>106</b>
6.0.0.0.1 . . . . .	106



## Capítulo **1**

### Generalidades

---

**D**esarrollar un proyecto inmobiliario implica la compra, adquisición o negociación de un terreno donde se pretende construir, parcelar o dar el uso pensado para el proyecto, entendiendo que existe un grupo profesional multidisciplinario que interviene donde cada parte cumple su función, la gerencia, la fiducia, los inversionistas, los comerciales, entre otros. El fin ultimo desde el aspecto social y entendiendo que esto varia según el tipo de proyecto es proveer una oportunidad de inversión, una vivienda o negocio, desde el grupo de desarrollo la finalidad es maximizar la utilidad o en otras palabras disminuir el costo inicial planeado y evitar los sobrecostos. En Colombia hay varios tipos de proyectos inmobiliarios, comúnmente son vivienda, comercial, industrial, hotelero o mixto. Estos proyectos suelen desarrollarse por etapas.

Cada proyecto tiene unidades, como son, casas, apartamentos, locales, bodegas, entre otros dependiendo el tipo de proyecto. Antes de dar inicio al proyecto inmobiliario se realizan estudios de pre-factibilidad que en conjunto determinan si se debería iniciar o no, dado que cada estudio debe ser favorable o con un mínimo nivel de riesgo, no solo en relación al costo sino también al tiempo, en caso de que la pre-factibilidad muestre una situación favorable se genera la factibilidad que es la linea base de seguimiento de actividades en todo el proyecto y se inicia con el proceso general de cualquier desarrollo inmobiliario siguiendo este lineamiento.

La pre-factibilidad usa una metodología estándar evidenciada en [1, p3] para su aceptación dada por la validación de varios análisis o estudios determinando que si en uno de ellos hay un elemento que indique riesgo crítico o inviabilidad, lo más probable es desistir de los siguientes estudios y descartar el proyecto si no hay mitigación, es decir que cada uno de estos debe ser aceptable para considerar la ejecución de proyecto, Para efectos de la simulación futura de los análisis asumimos estudios en paralelo y no en orden.

Los siguientes son los análisis  $A_X$  tenidos en cuenta.

- $A_J$  Análisis jurídico
- $A_T$  Análisis técnico
- $A_C$  Análisis comercial
- $A_N$  Análisis normativo
- $A_R$  Análisis de riesgos
- $A_F$  Análisis financiero

Es de anotar que cada análisis  $A_X$  posee actividades denotadas  $A_{X_i}$ ,  $i \in \mathbb{N}$ , además estas actividades a su vez pueden tener subactividades denotadas  $A_{X_{(i,j)}}$ ,  $i, j \in \mathbb{N}$  o no tenerlas, en cualquier caso si no aplicamos la notación, significa que los elementos no son relevantes de análisis en el capítulo de matemáticas.

A continuación, entramos a detallar los análisis  $A_X$  con sus elementos.

## 1.1 $A_J$ Análisis Jurídico

Con base a [2, p39] el análisis jurídico es un elemento que debería examinarse primero en un proyecto inmobiliario, junto con el análisis técnico, estos análisis permiten determinar si un predio o lote está afectado jurídicamente o tiene alguna debilidad constructiva evidenciable desde el principio, entendiendo que la obtención y disponibilidad del predio para ejecutarlo es el punto de partida para el proyecto. Existen diferentes metodologías para proceder jurídicamente, algunas empresas optan por obtener el certificado de tradición y libertad y documentos catastrales del predio donde se va a construir, en estos documentos se encuentra toda la información histórica de las transferencias de títulos del predio, hipotecas, sucesiones, entre otros, determinando así el estado y las implicaciones jurídicas de antiguos tenedores o problemas al momento de realizar la transferencia de dominio a favor del realizador del proyecto, considerando elementos críticos como falsa tradición, hipotecas, enajenaciones, embargos judiciales, entre otros riesgos de alto impacto.

### 1.1.1 $A_{J_1}$ Estudio de títulos

Es el análisis que realiza un abogado sobre la situación jurídica de un inmueble para determinar si es viable algún tipo de negociación con el mismo o si es posible recibirlo o darlo en garantía de alguna obligación, por tal razón al realizar un estudio de títulos, se

deben analizar todas las circunstancias jurídicas que tiene y rodean al inmueble y a su propietario.

#### 1.1.1.1 $A_{J(1,1)}$ Restitución de tierras

Es el derecho que tienen las víctimas a que se les devuelva su predio cuando éste fue despojado o abandonado por causa del conflicto armado. La restitución no depende de si quien reclama tiene títulos o no.

#### 1.1.1.2 $A_{J(1,2)}$ Falsa tradición por testaferrato

Se considera que hay falsa tradición cuando se transmite un derecho o un bien inmueble sin ser el titular de la propiedad de este, como cuando se vende una cosa ajena o es adquirido por alguien sin la capacidad económica para tal efecto.

### 1.2 $A_T$ Análisis Técnico

Según [2, p40] el análisis técnico se ubica desde la normatividad, es decir dentro de las restricciones y normas contenidas en el (POT) Plan de Ordenamiento Territorial del municipio, así como las condiciones técnicas propias del lote, tales como forma, topografía, aguas, entre otros los cuales se pueden identificar a simple vista. La pre-factibilidad técnica contendrá la información que permita establecer la infraestructura para desarrollar el proyecto, así como cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de construcción.

#### 1.2.1 $A_{T_1}$ Vías de Acceso

En el urbanismo moderno las vías de acceso a un proyecto son muy importantes ya que de acuerdo a esto puede haber o no interés de compra, siendo mejor opción las pavimentadas y no las destapadas, además el flujo vehicular del sector y la rapidez de ingreso son también observables a la hora de estudiar este elemento.

##### 1.2.1.1 $A_{T(1,1)}$ Obligaciones o afectaciones viales

Se deben revisar obligaciones o afectaciones viales, entendiéndose como afectaciones aquellas externas al proyecto como obras viales públicas que afectan el lote. La probabilidad de error en las apreciaciones es referente al profesional y debe ser considerada como un aspecto técnico, que afecta el tiempo. Saber si las obligaciones viales son exclusivamente del lote o compartidas con otros predios vecinos.

### 1.2.1.2 $A_{T(1,2)}$ Vías obligadas

Otro aspecto que debe analizarse es si el lote se encuentra ubicado en medio de dos lotes que ya tengan desarrolladas sus vías obligadas y que solo falté el tramo entre los dos lotes, o sea el tramo que debe realizar el proyecto, es seguro que la obligación de dicho lote será dar continuidad a las existentes. Las vías obligadas generan un costo adicional al del proyecto no solo por la misma obligación sino por las obras que se generan como coberturas, puentes, redes de alcantarillado, entre otras.

### 1.2.1.3 $A_{T(1,3)}$ Ampliación o rectificación de las vías

La ampliación o rectificación de las vías como obligaciones también generan costos adicionales al proyecto como son el traslado de alumbrado público, traslado de postes de energía, nuevas redes de alcantarillado ya que estas redes no deben quedar en el centro del carril.

## 1.2.2 $A_{T_2}$ Topografía

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y métodos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra, con formas y detalles, naturales y artificiales donde se enmarcan subareas como planimetría y altimetría. Esta representación se hace en planos acotados basándose en superficies planas y curvas de nivel, en áreas de pequeñas extensiones o por geodesia en áreas grandes.

### 1.2.2.1 $A_{T(2,1)}$ Topografía del predio

Los predios pueden tener topografía plana, inclinada o mixta.

Se considera que los lotes de topografía plana afectan el costo, aunque mejoran el tiempo, los de topografía inclinada tienen costo estándar pero son mas demorados y los lotes de topografía mixta son el evento mas optimo.

En la representación plana del lote se usa la planimetría en  $\mathbb{R}^2$  con  $(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}$  y en la representación geodésica se utiliza el espacio  $\mathbb{R}^3$  con  $(x, y, z) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}$ .

### 1.2.2.2 $A_{T(2,2)}$ Redes subterráneas

En el caso de que ya hayan redes subterráneas no se tiene sobrecosto, si las redes son superiores se genera un exceso de trabajo y posible sobrecosto.

### 1.2.2.3 $A_{T(2,3)}$ Forma geométrica del terreno

Siguiendo los elementos expuestos en [3], se considera que la forma geométrica del terreno permite garantizar ubicación de fachadas, accesos, entre otros, en una situación negativa se

genera un excedente de tiempo en el desarrollo. El predio  $p$  es estudiado por Agrimensura (medición de la tierra). Usando figuras geométricas  $G(p)$  del terreno y sus propiedades se determina y demarca con base a su forma gráfica, así, un predio queda determinado por una figura y usamos propiedades para dar una representación en los planos. El objeto de la Geometría en este contexto es el estudio de las propiedades de las figuras geométricas categorizadas en dos grupos, uno de “posición, extensión y forma” y otro de “métricas, proyectivas, topologías”.

**1.2.2.3.1 Propiedades de posición, extensión y forma** Todo lote o parcela presenta propiedades de posición, extensión y forma.

**1.2.2.3.1.1 Posición** Es el lugar de la figura en el espacio geométrico. En el espacio geométrico  $\tau \in \mathbb{R}^2$ ,  $(x, y) \in \tau$  con origen  $(0, 0)$  la posición queda definida por coordenadas  $x, y \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}$  en el sistema de referencia cartesiano. Sería suficiente para ejecutar cálculos geométricos, ejemplo centro, altura, mediana, baricentro.

En un modelo esférico o elipsoidal que se asemeja a la tierra. La diferencia es que se usa coordenadas  $a, b \in \mathbb{R}^2$  de latitud y longitud o coordenadas esféricas  $r, \theta, \rho \in \mathbb{R}^3$  con  $r \in [0, \infty)$ ,  $\theta \in [0, \pi]$ ,  $\rho \in [0, 2\pi]$ .

A excepción de un geometría degenerada tipo  $G(p) = (x, y) \in \mathbb{R}^2$  se considera la orientación con respecto a un eje directriz  $x = a, y = b$ . La orientación se obtiene o bien con una rotación  $\text{Rot}(G(p))$  (también se puede hacer traslación y rotación) o se usan coordenadas de un punto y orientación (rumbo o acimut) de un lado.

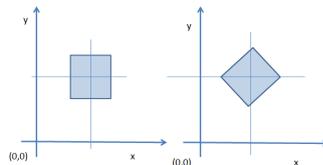


Figura. 1.1:  $p_1, p_2$  igual posición y distinta orientación por rotación. Tomada de [3]

**1.2.2.3.1.2 Extensión** Es una transformación que amplía  $G(p_1)$  dejando un punto fijo, o traslación del punto y sumando en los otros no necesariamente la misma cantidad ya que el  $G(p_2)$  resultante puede ser otro polígono. Es claro que la superficie de  $p_2$  es mayor que la de  $p_1$ .

**1.2.2.3.1.3 Forma** Si las  $G(p)$  formadas en los planos son regulares entregan mejores prestaciones de uso de la superficie. Es así que un predio rectangular, por ejemplo, es más



Figura. 1.2:  $p_2$  como extensión sin cambio de polígono de  $p_1$ . Tomada de [3]

conveniente que una en forma de L o triangular.

### 1.2.2.3.2 Propiedades métricas, proyectivas y topológicas

**1.2.2.3.2.1 Métricas** Una propiedad métrica por excelencia es el Teorema de Pitágoras, con todas sus bondades de proporciones y ángulos. Además las relaciones de lados-ángulos. Es usual hacer estos cálculos para hallar variables desconocidas, avanzando a polígonos más complejos.

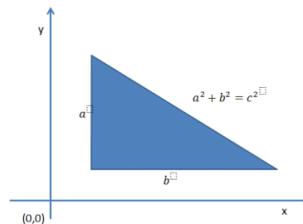


Figura. 1.3: Teorema de Pitágoras. Tomada de [3]

**1.2.2.3.2.2 Proyectivas** La geometría proyectiva estudia incidencia de proyecciones en  $G(p)$  desde un punto de visión, generalmente en  $\mathbb{R}^3$ . En cartografía se usa la proyección sobre  $G(p)$  para mostrar una parte de  $p$  cuando incide la redondez de la tierra en la representación. Las proyecciones cartográficas  $P$  se pueden clasificar en :

- Proyección conforme cónica de Lambert  $P_L$ : Se superpone un cono sobre la esfera terrestre, con dos paralelos que se usan de referencia secantes a este e intersecándolo. Esto mejora la distorsión de proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional, generando una figura similar. La coordenadas geodésicas esféricas  $(X, Y, Z)$  se transforman a las de proyección cónica conforme de Lambert usando las formulas

$$x = \rho \sin[n(\lambda - \lambda_0)]; \quad y = \rho_0 \cos[n(\lambda - \lambda_0)]$$

Con  $\lambda$  longitud,  $\lambda_0$  longitud de referencia,  $\phi$  latitud,  $\phi_0$  latitud de referencia,  $\phi_1$  y  $\phi_2$  paralelos estándar, además

$$\rho = F \cot^n \left( \frac{1}{4}\pi + \frac{1}{2}\phi \right); \quad \rho_1 = F \cot^m \left( \frac{1}{4}\pi + \frac{1}{2}\phi_0 \right)$$

$$F = \frac{\cos(\phi_1) \tan^m \left( \frac{1}{4}\pi + \frac{1}{2}\phi_1 \right)}{n}; \quad n = \frac{\ln [\cos(\phi_1) \sec(\phi_2)]}{\ln \left[ \tan \left( \frac{1}{4}\pi + \frac{1}{2}\phi_1 \right) \cot \left( \frac{1}{4}\pi + \frac{1}{2}\phi_1 \right) \right]}$$

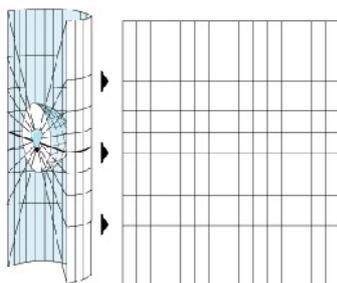


Figura. 1.4: *Proyección Cilíndrica Homolográfica de Lambert. Tomada de [4]*

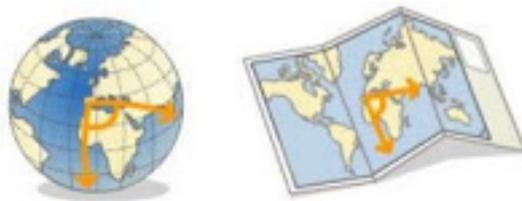


Figura. 1.5: *Proyección Conforme. Tomada de [5]*

- **Proyección cilíndrica homolográfica de Lambert:** Es una proyección cartográfica cilíndrica equivalente es decir que preserva las proporciones de las áreas pero no es conforme por tanto distorsiona formas y ángulos. Se construye proyectando sobre un plano cada punto de una esfera horizontalmente sobre un cilindro que es tangente al ecuador de esta, como rayos de luz paralelos al Ecuador saliendo del eje de la esfera. Los meridianos pasan de ser como “gajos” a ser paralelos, aumentando su área a medida que se acerca a los polos.

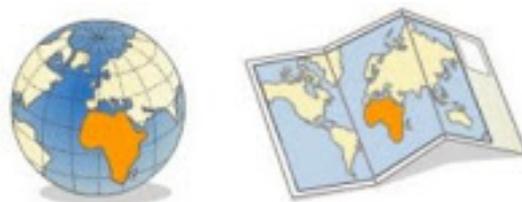


Figura. 1.6: *Proyección Equivalente. Tomada de [5]*

- **Proyección acimutal equidistante:** Es la proyección no equivalente, no conforme, que mantiene la escala de las distancias respecto al centro del mapa. Con esta proyección, un mapa es un círculo con centro de proyección (punto de la esfera tangente al plano de proyección) en el centro del mapa. Al preservar la escala de las distancias respecto al centro, la circunferencia externa del mapa representa el punto más alejado posible, a 180 grados de distancia, la antípoda del centro.

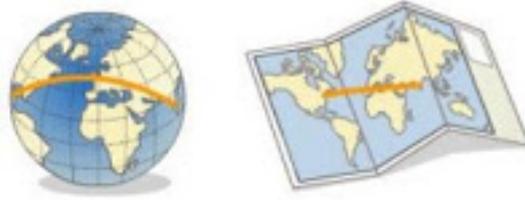


Figura. 1.7: *Proyección Equidistante. Tomada de [5]*

**1.2.2.3.2.3 Topologías** Las propiedades topológicas son aquellas propiedades que se mantienen constantes o invariantes en las transformaciones continuas. Las de mayor interés en nuestro ámbito son las propiedades de vecindad, inclusión y conexión.

Para nuestro análisis, en el caso práctico de las parcelas, la propiedad topológica más importante es la de vecindad, sea con otras parcelas de dominio público o privado. La definición de las propiedades de vecindad de una parcela concreta la voluntad de dominio entre vecinos independientemente de las propiedades métricas. Es de interés para garantizar ubicación de fachadas, accesos, entre otros.

### 1.2.3 $A_{T_3}$ Fuentes de agua

Si hay fuentes de agua presentes en el lote, se aumentan los costos y tiempos dependiendo los tratamientos y retiros a realizar, además que requiere generalmente expertos hidrólogos.

### 1.2.4 $A_{T_4}$ Torres de energía

Si hay torres de energía se limita el desarrollo del lote. Además se consideran las servidumbres. Si el lote tiene buena condición se podría considerar un sobre costo por reubicación de torres. Una torre eléctrica es una estructura de gran altura, normalmente construida en acero, cuya función principal es servir de soporte de los conductores eléctricos aéreos de las líneas de transmisión de energía eléctrica. Se utilizan tanto en la distribución eléctrica de alta y baja tensión como en sistemas de corriente continua tales como la tracción ferroviaria. Los rangos normales de altura oscilan entre 15m y 55m.

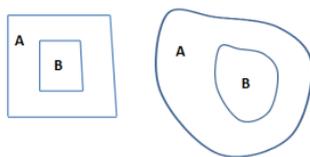


Figura. 1.8: *Topología Inclusion. Tomada de [6]*



Figura. 1.9: *Topología Vecindad. Tomada de [6]*

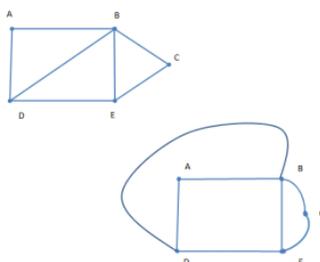


Figura. 1.10: *Topología Conexión. Tomada de [6]*

### 1.2.5 $A_{T_5}$ Asoleamiento

En Arquitectura se habla de asoleamiento al estudiar la necesidad de permitir el ingreso de la luz solar en ambientes interiores o espacios exteriores para buscar confort y temperatura adecuada. Se debe conocer de geometría para analizar cuantas horas estará asoleado un local mediante la radiación que pase a través de ventanas y otras superficies no obstructoras o con opacidad no transportadora de luz. El calculo importante en el asoleamiento es el factor solar sobre elementos como vidrio  $F = \frac{\alpha K}{h_e}$  con  $\alpha$ : factor de absorción solar, K: coeficiente global de transmisión,  $h_e$ : coeficiente superficial de transmisión.

### 1.2.6 $A_{T_6}$ Altura de las unidades

Impacta las ventas en edificios sin ascensor, esta situación se podría presentar por una limitación de recursos o inviabilidad técnica que se imponga sobre los diseños, también puede ser una decisión dependiendo el tipo de proyecto.

### 1.2.7 $A_{T_7}$ Sistema constructivo

Es el conjunto de materiales, técnicas, procedimientos, equipos y metodología para hacer la construcción de una edificación en particular, en Colombia se tiene mayor aceptación al conocido método tradicional, que se fundamenta en el uso de estructuras de muros de

carga en ladrillo, piedra o bloques, estructuras de pilares de hormigón armado o de acero laminado, con mucha frecuencia se usan muros de carga y pilares juntos.

### 1.2.8 $A_{T_8}$ Estudios especiales

Pueden encarecer fuertemente el desarrollo, por ejemplos hidrología, sismología, estudio de suelos. Esto debido a los altos honorarios profesionales.

### 1.2.9 $A_{T_9}$ Servicios públicos

Servicios públicos son todas aquellas actividades llevadas a cabo por los organismos del estado o bajo el control y la regulación de este, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de una colectividad. Los servicios públicos son una función de Estado, puesto que el Estado no es sino una corporación de servicios públicos administrados por los gobernantes sobre quienes recae, a su vez, la función y la obligación de crear, organizar y garantizar el adecuado funcionamiento de los servicios públicos. En este sentido, los servicios públicos son exigidos o contemplados por la propia legislación de cada Estado, en la cual se contemplan las actividades y prestaciones permitidas u obligatorias en un país. Los servicios públicos son administrados por el Estado a través de instituciones públicas creadas para tales fines, aunque también pueden recaer en las empresas privadas, siempre y cuando estas se sujeten al control, vigilancia y fiscalización del Estado, y cumplan con las normas y leyes vigentes. La importancia de los servicios públicos radica en la necesidad de satisfacer determinadas exigencias para el buen funcionamiento de la sociedad, y para favorecer y realizar efectivamente el ideal de igualdad y bienestar. Por lo general, los servicios públicos tienen carácter gratuito o su costo es muy bajo o está subsidiado, pues su finalidad no es el lucro sino atender las demandas sociales. Existen muchos servicios públicos, en Colombia tenemos comúnmente: Abastecimiento de agua, Electricidad, Gas, Telefonía, Internet La no obtención de permisos de servicios públicos atrasan dramáticamente el desarrollo del proyecto.

## 1.3 $A_C$ Análisis Comercial

El análisis comercial para [2, p44] es importante para garantizar la viabilidad del proyecto ya que este se sostiene y avanza en gran medida por las ventas que representan ingresos, en este análisis también se evalúan los egresos generados por el área comercial, juega un papel fundamental el estudio de datos para estimar el valor comercial del producto ofrecido dadas las condiciones de mercado, la velocidad de ventas y la utilidad esperada.

Tabla  $T_{A_{C_2}}$

Estrato	I-F Ciclo Político
6	Alto
5	Alto
4	Medio
3	Medio
2	Bajo
1	Bajo

*Estrato  $\times$  Inicio - Fin de ciclo político*

### 1.3.1 $A_{C_1}$ Crecimiento económico por región

Es el aumento de renta o valor de los bienes en una economía (de un país o región) en un periodo (En Colombia es generalmente en periodos trimestrales que se anuncian cambios importantes en los indicadores y por cada cambio de gobierno suele haber un cambio mayor dado que los ciclos políticos desempeñan un rol fundamental en el apetito de inversión, compra de vivienda o vivienda de lujo según el caso).

El crecimiento económico se mide con indicadores, por ejemplo canasta familiar, producción en bienes y servicios, ahorro, capacidad de inversión, entre otros. Entre mejor puntaje tengan estos, mayor será la proyección de ventas por periodo.

### 1.3.2 $A_{C_2}$ Ambiente político

Es una respuesta del consumidor a eventos políticos, regionales, municipales o nacionales basados en comportamientos de líderes políticos alcaldes, gobernadores, presidencia y del gobierno en general. Estas acciones influyen sobre el apetito de consumo de bienes. Si hay un ambiente político positivo se puede estimular la intención de consumo, pero si es complejo la inapetencia puede ser crítica para cualquier proyecto, situación que es muy usual cerca de elecciones presidenciales.

Los gobiernos inestables, la violencia o inseguridad son factores que alejan a las empresas y los particulares del modelo de compra o inversión. Así mismo, los cambios de gobierno generan incertidumbre, donde la mayoría de los proyectos por implementar se paralizan.

Las ventas se ven afectadas por la cercanía a cambios de ciclo político de gobierno por estrato así.

### 1.3.3 $A_{C_3}$ Ambiente legal

Al emprender un proyecto, se debe considerar las leyes inherentes a él, bien sea por su propia estructuración, ubicación, situación ambiental y otras para tener claridad si limitan

o favorecen las actividades del mismo. Se debe garantizar el cumplimiento de tales las leyes, independiente a que exista un control estricto o no sobre ellas ya que más adelante se puede poner en riesgo no solo la ejecución, sino luego de la posible venta tendría en el caso más extremo que haber demoliciones o reestructuraciones no soportables económicamente para los desarrolladores.

#### **1.3.4 $A_{C_4}$ Ubicación**

Las zonas afligidas, violentas o inseguras son de especial estudio a la hora de determinar la viabilidad de un proyecto, donde generalmente se opta por tipo VIS (Vivienda de interés social), o VIP (Vivienda de interés prioritario) mancomunadamente con el gobierno y no se suelen desarrollar proyectos privados o de lujo a no ser que sean propuestas comerciales o que haya una garantía de estabilidad a mediano plazo del sector, eventualmente un grupo inversor arriesgado podría realizar un desarrollo de este tipo. Una de las características importantes de la ubicación es que da claridad al determinar el tipo de proyecto (vivienda multifamiliar, VIS, VIP, lujo, comercial)

#### **1.3.5 $A_{C_5}$ Competencia**

El estudio de la competencia suele dar criterios para la correcta comercialización de un proyecto y el direccionamiento de las estrategias inherentes a la búsqueda de ventas.

##### **1.3.5.1 $A_{C_{(5,1)}}$ Competencia en el sector**

Se acostumbra estudiar la competencia en el sector de influencia del proyecto y comparar el valor comercial con proyectos similares, para ver si la propuesta es competitiva.

##### **1.3.5.2 $A_{C_{(5,2)}}$ Proyectos similares en el sector**

Es usual encontrar proyectos similares en lugares cercanos dado los permisos otorgados por el POT, la estrategia es ofrecer características mejores, por ejemplo más parqueaderos, un salón social, porterías más llamativas o cualquier valor agregado que también puede ser financiero.

##### **1.3.5.3 $A_{C_{(5,3)}}$ Valor $m^2$**

Se debe determinar el costo del metro cuadrado del proyecto en su ubicación, para ofrecer precios similares o competitivos, en caso de proyectos de alto valor se pueden ofrecer características diferenciadoras.

### **1.3.6 $A_{C_6}$ Estrategia comercial**

Se explora el publico objetivo y se utilizan diferentes elementos a través del ciclo de vida pensado para el proyecto, hoy en día suelen usarse mucho los medios virtuales, páginas WEB, métodos de posicionamiento SEO, redes sociales, Google Ads, Publicidad en Facebook, Instagram, Twitter, además de tradicionales volantes, avisos, vallas publicitarias, eventos, voz a voz, etc. Entre más coherencia entre estos elementos y los consumidores, mayor probabilidad de venta disminuyendo el tiempo del proyecto.

### **1.3.7 $A_{C_7}$ Estimación de oferta**

Inmobiliariamente se cuantifica la oferta mas no la demanda lo cual genera una posible afectación al costo del proyecto.

#### **1.3.7.1 $A_{C_{(7,1)}}$ Sobreoferta**

La oferta en ciertas épocas suele ser alta si hay buen ambiente político y económico, pero si se da sobreoferta inmobiliaria se afecta el desarrollador, ya que no se logran suficientes negocios para el exceso de inventario.

#### **1.3.7.2 $A_{C_{(7,2)}}$ Burbujas**

Las burbujas inmobiliarias suelen darse poco, pero es un escenario riesgoso ya que el valor de la propiedad decrece fuertemente y los consumidores que ya han invertido tienen que vender muy barato, es difícil cerrar negocios ya que hay demasiado inventario, las pérdidas de los desarrolladores suelen ser cuantiosas, la competencia puede ser exagerada ya que se enfrentan a decisiones de vender a costo, con pérdida o cancelar el proyecto.

#### **1.3.7.3 $A_{C_{(7,3)}}$ Capacidad de inversión**

Se debe tener en cuenta el índice de confianza al consumidor y su intención de compra de bienes, la cual es directamente proporcional a la demanda de inmuebles que suele ser prioritaria cuando es primera vivienda, por encima de bienes de lujo como automóviles.

### **1.3.8 $A_{C_8}$ Empleo por estrato**

La tasa de empleo incide en las ventas de proyectos inmobiliarios según los siguientes parámetros relacionados al estrato.

### **1.3.9 $A_{C_9}$ Ingresos por estrato**

Los ingresos inciden en las ventas de proyectos inmobiliarios según los siguientes parámetros relacionados al estrato.

Tabla  $T_{A_{C_8}}$ 

Estrato	Empleo
6	Bajo
5	Medio
4, 3	Alto
2, 1	Muy Alto

*Estrato  $\times$  Empleo*Tabla  $T_{A_{C_9}}$ 

Estrato	Ingreso
6, 5	Bajo
4, 3	Alto
2, 1	Muy Alto

*Estrato  $\times$  Ingreso*

## 1.4 $A_N$ Análisis Normativo

En este análisis se estudian las normas municipales, regionales y nacionales que afectan o facilitan el desarrollo del proyecto en su ubicación y bajo el contexto de la norma vigente, generalmente la primera norma en estudiarse es el POT para verificar cuantas unidades y de que tipo se pueden construir en el suelo estudiado.

### 1.4.1 $A_{N_1}$ Dirección del predio

Se analiza para ubicar el predio dentro de los planos del POT, en usos y aprovechamiento del suelo, en algunos casos estos podrían estar clasificados dentro de polígonos de área homogéneas. Se obtienen datos como calle, carrera, barrio, ciudad, etc, se suele usar recursos como el SINUPOT.

### 1.4.2 $A_{N_2}$ POT

El POT (Plan de Ordenamiento Territorial) es un instrumento técnico de los municipios del país para planear y ordenar el territorio.

#### 1.4.2.1 $A_{N_{(2,1)}}$ Restricciones del POT

Se deben tener en cuenta las restricciones del POT de índole ambiental, conservación de patrimonio, proyectos de expansión viales, entre otros. En el aspecto constructivo, la construcción inicialmente pensada para generar valor del proyecto como equipamientos o

parqueaderos podría verse modificada por el POT o por normatividad vigente municipal, departamental o nacional. El POT se debe cumplir para garantizar los permisos en el proyecto.

### 1.4.2.2 $A_{N(2,2)}$ Cambio de POT

Si durante una administración se da un cambio de POT en el área de influencia del proyecto, pueden haber cambios sensibles que afecten el mismo, en tal caso se hacen consideraciones y se toman decisiones de fondo en relación al futuro del desarrollo inmobiliario.

### 1.4.2.3 $A_{N(2,3)}$ Uso del Suelo

Según [7, p17] el suelo del territorio municipal se clasifica en suelo urbano, suelo rural y suelo de expansión urbana y se deben tener en cuenta los siguientes escenarios.

- Suelo urbano: Constituyen el suelo urbano, las áreas destinadas a vías urbanas, que cuenten con infraestructura vial, redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitando su urbanización y edificación. El suelo urbano está definido en los planos que componen el POT como aquel donde el municipio tiene capacidad de prestar sus servicios públicos primarios denominándose éste como perímetro sanitario o de servicios públicos.
- Suelo de expansión urbana: Se definen así las áreas del territorio municipal aptas para desarrollos urbanos que se van a habilitar como tales a corto, mediano o largo plazo; las cuales se incorporarán al perímetro urbano dependiendo de la posibilidad de obtener infraestructura para el sistema vial, de transporte y de servicios públicos principalmente.
- Suelo rural: Se define como los suelos no aptos para el uso urbano, por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas, así como usos recreativos. Se definen los terrenos conocidos comúnmente como el campo donde hay baja densidad poblacional de infraestructura, servicios y equipamiento.
- Suelo suburbano: Se define como suelo rural donde se mezclan usos del suelo y formas de vida del campo y la ciudad que pueden ser objeto de desarrollo con restricciones de uso, de intensidad y de densidad, diferentes a las denominadas áreas de expansión urbana.

- Suelo de protección: Constituido por las zonas y terrenos localizados dentro de cualquiera de las anteriores clases, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructura para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenaza y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tienen restringida la posibilidad de urbanizarse.

Los impactos relacionados a los tipos de suelos se ubican en la siguiente tabla.

*Tabla T $A_{N(2,3)}$*

Estrato	Impacto Costo	Impacto Tiempo
Suelo de expansión urbana	Ninguno	Ninguno
Suelo urbano	Ninguno	Ninguno
Suelo rural	Muy Bajo	Ninguno
Suelo suburbano	Muy Bajo	Ninguno
Suelo de protección	Total	Total

*Impactos  $\times$  Tipo de Suelo*

### 1.4.3 $A_{N_3}$ Datos normativos

Las densidades, índice de construcción, índice de ocupación, determinan que tipo, que cantidades y que áreas deben tener las unidades que se piensan construir.

#### 1.4.3.1 $A_{N(3,1)}$ Densidades

Es la cantidad máxima de unidades de vivienda por hectárea que se define para un territorio y se fija de manera diferencial para cada polígono. Se aplica sobre el área neta.

#### 1.4.3.2 $A_{N(3,2)}$ Índice de ocupación

Es la porción del área de suelo que puede ser ocupada por la edificación en primer piso bajo cubierta, y se expresa por el cociente que resulta de dividir el área que puede ser ocupada por edificación en primer piso por el área total del lote. Lo anterior, sin detrimento de los retiros establecidos por las normas.

#### 1.4.3.3 $A_{N(3,3)}$ Índice de construcción

Es el número máximo de veces que la superficie de un lote puede convertirse por definición normativa en área construida, y se expresa por el cociente que resulta de dividir el área permitida de construcción por el área del lote. Se calcula sobre área bruta.

#### 1.4.4 $A_{N_4}$ Anteproyectos y planes parciales

Los anteproyectos para presentación y planes parciales permiten establecer una comunicación más clara con los posibles socios o inversionistas.

#### 1.4.5 $A_{N_5}$ Obligaciones determinables

Por ejemplo tributos e impuestos (Dependen de la región y de las exigencias de las administraciones).

#### 1.4.6 $A_{N_6}$ Obligaciones indeterminables

Por ejemplo eventos de corrupción o atrasos por factores de tiempos extendidos en entidades (Depende de la región), dependiendo la gravedad de la situación se pueden dar afectaciones cuantiosas y grandes retrasos del desarrollo.

##### 1.4.6.1 $A_{N_{(6,1)}}$ Ineptitud

Es un elemento que se da por la falta de competencia de los funcionarios y suele atrasar bastante los desarrollos y generar sobrecostos por pérdida de tiempo.

##### 1.4.6.2 $A_{N_{(6,2)}}$ Retraso intencional

Se genera por la mala disposición de funcionarios o incluso por elementos emocionales o subjetivos que impactan los costos del proyecto.

##### 1.4.6.3 $A_{N_{(6,3)}}$ Corrupción

La corrupción se refiere a los delitos cometidos por funcionarios que abusan de su posición anteponiendo sus intereses personales y generalmente buscando beneficios para aprobar tramites o permisos.

### 1.5 $A_R$ Análisis de Riesgos

En [8, p6] se define el riesgo dentro de un proyecto según (PMI, 1998) como la posibilidad de sufrir un daño o pérdida, el cual tiende a convertirse en un desastre en el que algo o alguien sufren dicho perjuicio. Está eventualidad obedece a que los riesgos suelen ser desconocidos, es decir, identificables pero variables según su impacto.

Estos tipos de eventos obedecen en su gran mayoría a sucesos aislados, que si no se estiman adecuadamente, afectaran de manera negativa y directa en el proceso de ejecución del proyecto, que en algunas oportunidades pueden atenderse y reducir su impacto según la severidad del mismo pero en otras no. Es ineludible el evaluar cada uno de estos eventos para poder determinar posibles soluciones ante dichos hechos, de manera que se aprovechen las

oportunidades y se respondan las amenazas, para que justamente se mitigue la incidencia, y en caso de no eliminar la causa de dicha amenaza, es inevitable asumir las consecuencias del riesgo por no desarrollar una adecuada evaluación de los mismos sin importar que medidas implementar cuando el avance es significativo.

Para los proyectos inmobiliarios, el no evaluar los riesgos que se pueden presentar en su realización innumerables sucesos, los cuales incurren directamente y afectan la ejecución, que se traduce en sobre costos, fechas de entrega atrasadas, incumplimiento de calidad y exigencias técnicas, entre otras, desencadenando generalmente pérdidas económicas no estimadas, siendo así recomendable destinar recursos iniciales para eventos de esta índole como parte normal del presupuesto del proyecto, que será un excedente en el caso de una buena mitigación e idoneidad de este análisis.

La incidencia del riesgo es mayor en la planeación, por tanto, estimar previamente las posibles afectaciones que se puedan presentar, aumenta la probabilidad de éxito del proyecto.

### **1.5.1 $A_{R_1}$ Riesgos Naturales**

Por ejemplo terremotos, incendios, huracanes, inundaciones, etc.

### **1.5.2 $A_{R_2}$ Riesgos Psicosociales**

Por ejemplo robo, accidentes, incendio de material y equipos etc.

### **1.5.3 $A_{R_3}$ Riesgos Financieros**

Por ejemplo inflación, cambio de precios en materias primas, disponibilidad de fondos etc.

### **1.5.4 $A_{R_4}$ Riesgos de Diseño**

Por ejemplo diseño incompletos, deficientes, cálculos errados, etc.

### **1.5.5 $A_{R_5}$ Riesgos Operacionales**

Por ejemplo huelgas, falta de programación, productividad, etc.

### **1.5.6 $A_{R_6}$ Riesgos Técnicos**

Dependen de criterios expertos lo cual los hace subjetivos y difíciles de observar.

#### **1.5.6.1 $A_{R_{(6,1)}}$ Suelos y contenciones**

Tienen un mayor riesgo por variabilidad del terreno.

#### **1.5.6.2 $A_{R_{(6,2)}}$ Cambios de obra**

Se basan en la siguiente información relacionada a los estratos sociales.

*Tabla T<sub>A<sub>R</sub>(6,2)</sub>*

Estrato	Impacto	Probabilidad
6	Alto	Alto
5, 4, 3	Alto	Medio
2, 1	Bajo	Bajo

*Impactos × Tipo de Suelo*

### 1.5.6.3 A<sub>R(6,3)</sub> Diseños arquitectónicos

Un mal diseño compromete la estabilidad de la estructura.

### 1.5.6.4 A<sub>R(6,4)</sub> Cálculos constructivos

Imprecisiones o errores en los cálculos de un proyecto pueden desencadenar en una falla estructural y hasta un colapso.

## 1.5.7 A<sub>R7</sub> Riesgos de Construcción

Se vinculan a procesos constructivos mal implementados.

### 1.5.7.1 A<sub>R(7,1)</sub> Clima

La incidencia del clima depende del tipo del proyecto así.

*Tabla T<sub>A<sub>R</sub>(7,1)</sub>*

Tipo	Impacto	Probabilidad
Urbanismo	Alto	Alto
Edificación	Medio	Alto

*Impactos × Tipo de Suelo*

### 1.5.7.2 A<sub>R(7,2)</sub> Suministros

Por ejemplo licencias, aprobaciones que dependen de terceros, ocurren menos en entidades privadas que publicas.

### 1.5.7.3 A<sub>R(7,3)</sub> Mala Construcción

Obedece generalmente a errores humanos y pueden generar daños estructurales importantes, generalmente la auditoria de los proyectos y una supervisión correcta deberían mitigar o evitar este riesgo, pero si se presenta puede ser muy costoso y demorado para corregir.

### 1.5.8 $A_{R_8}$ Riesgos en la Calidad

Pueden darse un error de la calidad inicial estimada que puede presentarse también en la fase de postventa.

#### 1.5.8.1 $A_{R_{(8,1)}}$ Conformidad del Proyecto

Si hay una mala conformidad se dan reprocesos y está asociada a factores humanos y contractuales. Si existe mucha cantidad de trabajo en el momento del proyecto hay una alta probabilidad de que se presente este riesgo, en cambio si hay baja cantidad de trabajo la probabilidad es baja.

#### 1.5.8.2 $A_{R_{(8,2)}}$ Conformidad de Materiales

Si los materiales no son conformes se generan retrasos de tiempo importantes.

### 1.5.9 $A_{R_9}$ Riesgos Exógenos

Ejemplo licencias, permisos, legislación, etc. Los riesgos exógenos constituyen principalmente permisos o tramites que dependen de terceros

#### 1.5.9.1 $A_{R_{(9,1)}}$ Entidades publicas

Existe una probabilidad muy alta e impacto alto de riesgos en entidades publicas.

#### 1.5.9.2 $A_{R_{(9,2)}}$ Entidades privadas

Existe una probabilidad baja e impacto medio-alto de riesgos en entidades privadas.

#### 1.5.9.3 $A_{R_{(9,3)}}$ Movimiento de redes

Una necesidad de mover las redes puede detener todo el proyecto.

#### 1.5.9.4 $A_{R_{(9,4)}}$ Permisos ambientales

Por ejemplo vertimiento, tala, ocupación de cauce.

#### 1.5.9.5 $A_{R_{(9,5)}}$ Permisos de transito

Los permisos de transito suelen demorarse entre 1 y 2 meses.

#### 1.5.9.6 $A_{R_{(9,6)}}$ Registro y catastro

A veces se presentan retrasos por requerimientos documentales en registro y catastro.

## 1.6 $A_F$ Análisis Financiero

Según [9, p7] una vez obtenida la información de los anteriores estudios, se procede al análisis financiero del proyecto, en este análisis se proyectan los costos directos e indirectos del proyecto, así como los ingresos por ventas, inversiones, definiendo una proyección de utilidad esperada, basado en las inversiones y tiempos del proyecto, para establecer la tasa de retorno del proyecto y generar los soportes suficientes para tomar la decisión de desarrollar el proyecto o no. El estudio financiero es aquel en el cual se resumen los aspectos desarrollados en el plan de negocios para el proyecto inmobiliario. Se elabora una lista de ingresos y egresos que se esperan ocurran y se ordenan en periodos o cronológicamente. El tiempo de este estudio determinado en periodos es aquel en el cual el proyecto tendrá vigencia y para el cual se construye el flujo de fondos.

En el análisis financiero se busca determinar costos totales del proyecto (costos directos, costos indirectos, costos financieros, costos de urbanismo, costo del lote). De forma generalizada las actividades en el análisis financiero se pueden agrupar en 3 categorías a saber que no representan actividades y se usan con el objetivo de ordenar las mismas según los estándares de la industria, estas son.

- Ingresos
- Egresos
- Flujo de caja

### Categoría de Ingresos

Los ingresos pueden impactar el costo negativa o positivamente (en menor medida porcentual) al igual que el tiempo. Los ingresos están dados por aportes, ventas, rentas, prestamos y otros menos convencionales que pueden surgir. Cada uno de estos elementos poseen metodologías de cálculo diversas que involucran variables como periodo, incrementos, etc. Las ventas se proyectan en el estudio comercial con base a conocimiento empírico o más formalmente estudios de oferta y demanda, expectativa de comportamiento de la economía, consumidor y competencia. Los ingresos supuestos teóricamente serán las salidas del análisis financiero donde los ingresos supuestos reales tendrán un error de cálculo.

#### 1.6.1 $A_{F_1}$ Capital inicial

Para comenzar un desarrollo inmobiliario se requiere un músculo financiero importante, lo recursos iniciales garantizan el comienzo del mismo y pueden venir de.

- Recursos Propios del Promotor
- Posibles Inversionistas
- Fuentes de Financiación

## 1.6.2 $A_{F_2}$ Generación de Recursos

Todo proyecto requiere recursos humanos y económicos para su correcto desarrollo, lo cuál suele ser retador a medida que este avanza ya que es importante garantizar las ventas y los fondos.

### 1.6.2.1 $A_{F(2,1)}$ Aportes

Los aportes de socios se pueden dar en cualquier momento del ciclo de vida del proyecto que se haya estipulado, en algunos proyectos hay retrasos o no pago de los mismos, lo cual genera necesidad de prestamos o pausas en el proyecto, además de confrontaciones legales.

### 1.6.2.2 $A_{F(2,2)}$ Ventas

Las ventas suelen ser el principal ingreso en proyectos inmobiliarios, a veces hay retractos por parte de los clientes, muchos proyectos utilizan un aliado bancario para que los clientes obtengan prestamos con hipoteca dando o cuota inicial generalmente pequeña en relación al precio de la unidad inmobiliaria.

### 1.6.2.3 $A_{F(2,3)}$ Renta

Las rentas son una alternativas en ciertos proyectos inmobiliarios.

### 1.6.2.4 $A_{F(2,4)}$ Inventario

Suele entregarse inventario sobrante como forma de pago a inversionistas o desarrolladores al finalizar el proyecto si no se vende completamente.

## Categoría de Egresos

Dependiendo el tipo de proyecto además de los egresos normales pueden haber otros o ser mas a los considerados, por ejemplo en proyectos comerciales o industriales.

Los egresos son costos y gastos asociados al desarrollo del proyecto, que suelen ser En los proyectos inmobiliarios hay costos que se consideran generales y pueden tener sub-costos específicos o rubros con métodos específicos de pago. Luego el costo total teórico está dado por la suma de estos elementos y el real posee un error de cálculo. El costo depende del tiempo en la medida que algunos egresos se incrementan con este y los tiempos que

difieren con los pronosticados en ciertos escenarios pueden impactarlo. En el error tiene incidencia la ponderación de riesgos desde eventos macro de tipo económicos, políticos, sociales, naturales etc hasta otros más nucleares que se deben cuantificar.

Además, si dentro del modelo de ejecución del proyecto no todos los recursos vienen de inversionistas privados se debe considerar los gastos financieros en el caso de préstamos bancarios. Cada uno de los errores tienen una metodología o fórmula específica de cálculo y algunos tienen dependencias de variaciones exógenas que pueden hacer cambiar el resultado del análisis financiero. Algunos eventos del análisis financiero tienen un precio exacto o de error mínimo por ejemplo costos directos de construcción o diseños y estudios, mientras que otros suelen ser difíciles de estandarizar.

### **1.6.3 $A_{F_3}$ Compra o negociación del lote o terreno**

Es importante hacer una correcta negociación al momento de considerar el lote, ya que un mal negocio o una compra con sobrecosto genera pérdidas de entrada a los inversores.

### **1.6.4 $A_{F_4}$ Costos directos de construcción**

Los costos directos de construcción son aquellos gastos que estén directamente relacionados con el aspecto constructivo del proyecto. Los costos directos son por ejemplo subcontratistas, mano de obra, materiales, equipos, entre otros.

#### **1.6.4.1 $A_{F(4,1)}$ Costos de presupuestación**

Se generan sobrecostos cuando se hace un mal presupuesto.

#### **1.6.4.2 $A_{F(4,2)}$ Costos de calidad**

Se generan sobrecostos cuando se requieren ajustes de materiales, acabados, etc.

#### **1.6.4.3 $A_{F(4,3)}$ Costos de diseño**

Se generan sobrecostos cuando se requieren ajustes de diseño etc.

### **1.6.5 $A_{F_5}$ Costos indirectos de construcción**

Los costos indirectos de construcción son gastos generales que permiten la ejecución de trabajos asociados a la construcción del proyecto y engloban elementos como: gastos de administración, vigilancia, organización, imprevistos, publicidad, etc.

#### **1.6.5.1 $A_{F(5,1)}$ Honorarios Profesionales**

Son aquellos costos asociados a los pagos de personal profesional que intervienen en el proyecto inmobiliario.

**1.6.5.2  $A_{F(5,2)}$  Costos administrativos y comerciales**

Pagos que se deben realizar al personal administrativo, de salas de ventas, call center, etc.

**1.6.5.3  $A_{F(5,3)}$  Costos financieros y bancarios**

Costos que son producidos por manejo de fondos bancarizados, como impuestos por movimientos de dinero, gerencia de chequera, tarjetas de crédito, entre otros.

**1.6.5.4  $A_{F(5,4)}$  Impuestos, tributación y escrituración**

Son costos obligatorios, que están estipulados por ley, en los cuales no se presenta descuento de ninguna índole.

**1.6.5.5  $A_{F(5,5)}$  Pagos de operación**

Cada proyecto debe realizar pagos a las partes que intervienen en él, entre ellos están, pagos de gerencia, fiducia, constructora, interventoría, comercializadora.

**1.6.6  $A_{F6}$  Gastos**

Los gastos son egresos donde no se genera retribución o beneficio, suelen asociarse a errores o pagos que no eran necesarios y se dieron por una mala presupuestación o similares.

**1.6.6.1  $A_{F(6,1)}$  Gastos de Venta**

Como función del tiempo de ventas hay variación de que puede ser positiva o negativa en gastos sobre ventas, algunos ejemplos de estos gastos son publicidad, personal ventas, comisiones, etc. El buen comportamiento de las ventas representa una utilidad.

**1.6.6.2  $A_{F(6,2)}$  Gastos financieros**

Estos gastos no se pueden determinar, pero siempre ocurren, y pueden impactar fuertemente el costo estimado del proyecto, se pueden dar por mayor valor de ejecución en el tiempo y bajo flujo del recaudo en el proyecto. Estas condiciones implican una dinámica legal y financiera negativa si se dan en alto grado.

**Categoría de Flujo de caja**

La simulación de los datos de ingresos y egresos facilitan el análisis del posible comportamiento en múltiples escenarios del proyecto en su estudio de pre-factibilidad. Los proyectos inmobiliarios son proyectos de inversión y es de interés analizar y estudiar la utilidad. Los flujos de caja permiten estimar el comportamiento de los recursos esperados para el ciclo de vida de proyecto, el flujo de caja en general muestra en cada periodo, que suele ser mensual, los ingresos y egresos del proyecto.

### 1.6.7 $A_{F_7}$ Procedimientos Financieros

Son conceptos básicos de las finanzas, que permiten obtener valores representativos para el desarrollo inmobiliario, que generalmente son mostrados a los interesados para conseguir inversionistas y su seguimiento permite ver en términos de flujo de recursos el comportamiento financiero del proyecto. Los más relevantes serán el NVP y el ROI que son valores que los inversionistas revisan para tomar decisiones frente a la participación en el proyecto y el WACC, que da una interpretación de la tasa de descuento que se usará para estimar el valor presente de un flujo de caja esperado, es un procedimiento de valorización.

#### 1.6.7.1 $A_{F(7,1)}$ NVP

El NPV del inglés (Net Present Value) también conocido como VAN (Valor Actual Neto) es según [10, c3] mayormente usado en el modelo rentista y se considera la inversión inicial  $S_0 < 0$  desde el periodo inicial  $p = 0$  luego

NPV  $> 0$  indica rendimientos superiores a la tasa de descuento utilizada.

NPV  $> 0$  no se crea ni se pierde valor.

NPV  $< 0$  indica rendimientos inferiores a la tasa de descuento utilizada con lo que el proyecto no es viable.

En cantidades que representan inversión se indican con signo negativo (salida de flujos) y la generación de fondos con signo positivo (entrada de flujos). En general por [11, p214] y [12, p122] tenemos la fórmula

$$NPV = S_0 + \sum_{p=1}^n \frac{S_p}{(1+i)^p}$$

- $S_0$  inversión inicial
- $S_t$  flujo de efectivo neto del periodo
- $p$  número de periodos de vida del proyecto
- $i$  tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA)

#### 1.6.7.2 $A_{F(7,2)}$ ROI

El ROI del inglés (Return On Investment) también conocido como RSI (Retorno Sobre Inversión) definido según [10, c3] como la tasa de interés que reduce a cero el valor presente, actual o futuro de una serie de ingresos, es decir la tasa en la que el flujo de ingresos y egresos traídos a valor presente se igualan, existen varios métodos para su cálculo. Para [12, p124]

una forma de hallar la ROI es despejando en

$$0 = S_0 + \sum_{p=1}^n \frac{S_p}{(1 + ROI)^p}$$

Y otra aproximación es la diseñada por Schneider con el teorema del binomio

$$(1 + ROI)^{-n} \approx 1 - nROI \Rightarrow ROI = \frac{-S_0 + \sum_{p=1}^n S_i}{\sum_{p=1}^n iS_i}$$

Si la ROI es mayor que los costos de inversión el proyecto es factible, de lo contrario no debería realizarse.

### 1.6.7.3 A<sub>F(7,3)</sub> WACC

El WACC del inglés (Weighted Average Cost of Capital) también conocido como CPPC (Coste Promedio Ponderado del Capital) pondera los costos de cada una de las fuentes de capital, independientemente de que estas sean propias o de terceros. Si el WACC es inferior a la rentabilidad sobre el capital invertido se habrá generado un valor económico agregado (EVA) para los accionistas. Una forma de calcular el WACC por [12, p135]

$$WACC = \frac{K_e E}{E + D} + \frac{K_d(1 - T)D}{E + D}$$

- K<sub>e</sub>: Coste de los Fondos Propios
- K<sub>d</sub>: Coste de la Deuda Financiera
- E: Fondos Propios
- D: Deuda Financiera
- T: Tasa impositiva

### 1.6.8 A<sub>F8</sub> Ventas menores a la estimación

Se busca estimar el margen de utilidad, haciendo una perfilación de una posible cantidad de ventas que suele ser errónea ya que se basa en las condiciones actuales del mercado, sin considerar todas las situaciones que se darán en el futuro en el cual se desarrolla el proyecto, una aproximación más correcta puede ser una distribución probabilística por ejemplo Poisson, en vez de la típica suposición de ventas iguales en periodos, hay que tener

en cuenta que generalmente ciertos meses presentan menos ventas que otros en el sector inmobiliario, por ejemplo diciembre y enero.

### **1.6.9 $A_{F_9}$ Intereses de Préstamos y Créditos**

Son los movimientos financieros asociados periódicamente a los intereses que se generan por préstamos y créditos, por ejemplo el crédito constructor o créditos bancarios.



Las actividades involucradas en el desarrollo de la pre-factibilidad inmobiliaria precisan una modelación matemática, por lo tanto requerimos algunas definiciones usuales y otras propias que hemos adoptado con el fin de formalizar la teoría.

### 2.1 Definiciones

Las siguientes definiciones permitirán una estructuración matemática de los conceptos relacionados a la pre-factibilidad y su análisis.

**Definición 2.1** [*Conjunto de los Naturales*]

Llamamos  $\mathbb{N}$  al conjunto discreto  $\mathbb{N} := \{0, 1, \dots\}$

**Definición 2.2** [*Conjunto de los Reales*]

Llamamos  $\mathbb{R}$  al intervalo  $\mathbb{R} := (-\infty, +\infty)$

**Definición 2.3** [*Conjunto de los Reales Positivos*]

Llamamos  $\mathbb{R}^+$  al intervalo  $\mathbb{R}^+ := (0, +\infty)$

**Definición 2.4** [*Conjunto de los enteros*]

Llamamos  $\mathbb{Z}$  al conjunto discreto  $\mathbb{Z} := \{-\infty, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, +\infty\}$

**Definición 2.5** [*Conjunto de los Racionales*]

Llamamos  $\mathbb{Q}$  al conjunto  $\mathbb{Q} := \left\{ \frac{m}{n} : m \in \mathbb{Z}, n \in \mathbb{Z} \setminus \{0\} \right\}$

**Definición 2.6** [*Conjunto Booleano*]

Llamamos  $\mathbb{B}$  al conjunto discreto  $\mathbb{B} := \{0, 1\}$ , se utiliza para la simulación y resultados en los que las variables depende de una situación que se puede dar o no, falso o verdadero.

**Definición 2.7** [*Función Probabilidad*]

Llamamos  $\mathfrak{p}$  a la función con rango  $[0, 1]$  que evalúa la probabilidad de ocurrencia de la variable o función evaluada.

**Definición 2.8** [Conjunto de probabilidad]

Llamamos  $\mathbb{P}$  al conjunto real  $\mathbb{P} := [0, 1]$  que representa el espacio de probabilidad de ocurrencia de un evento  $\psi$ .

**Definición 2.9** [Condicional]

Llamamos de forma general  $e_2 \mid e_1$  al condicionamiento del evento 2 dado el evento 1.

**Definición 2.10** [Cardinalidad de un conjunto]

Denotamos con  $|A|$  al número de elementos del conjunto  $A$ .

**Definición 2.11** [Promedio]

Denotamos con  $\bar{A}$  al promedio de un conjunto de elementos  $A$ .

**Definición 2.12** [Operadores lógicos]

Para abreviar usamos los clásicos  $\wedge$ ,  $\vee$ ,  $\Rightarrow$  entonces,  $\Leftrightarrow$  si y solo si.

**Definición 2.13** [Costo]

El costo del proyecto será  $\mathcal{P}_C = C + I(C) + \epsilon_C$  que corresponde al costo estimado  $C$ , mas el impacto en el costo estimado por eventos  $I_C$  y un error de observación del costo del proyecto  $\epsilon_C$ . El costo estimado es un vector definido por la cantidad de análisis del proyecto, para efectos de simulación se asume como 100% o lo que es lo mismo 1.

$C = \{C_{A_X}\} = (C_{A_J}, C_{A_T}, C_{A_C}, C_{A_N}, C_{A_R}, C_{A_F})$  con  $I$  operador lineal.

**Definición 2.14** [Tiempo]

El tiempo de desarrollo del proyecto  $\mathcal{P}_T = T + I(T) + \epsilon_T$  que corresponde al tiempo estimado  $T$ , mas el impacto en el tiempo estimado por eventos  $I_T$  y un error de observación del tiempo del proyecto  $\epsilon_T$ . El tiempo estimado es un vector definido por la cantidad de análisis del proyecto, para efectos de simulación se asume como 100% o lo que es lo mismo 1.

$T = \{T_{A_X}\} = (T_{A_J}, T_{A_T}, T_{A_C}, T_{A_N}, T_{A_R}, T_{A_F})$  con  $I$  un operador lineal.

**Definición 2.15** [Análisis]

Llamamos  $A_X$  cada uno de los estudios de la pre-factibilidad, donde  $\mathbf{a} \in A_X = (c, t)$  con  $c \in C$ ,  $t \in T$ ,  $\mathbf{a}$  variable observable que incide en el análisis  $A_X$ .

**Definición 2.16** [Conjunto de Análisis Inmobiliarios]

Llamamos  $\mathcal{A} = \{A_J, A_T, A_C, A_N, A_R, A_F\}$  al conjunto que contiene todos los análisis de pre-factibilidad.

**Definición 2.17** [Actividades del análisis]

Llamamos  $A_{X(i,j)}$  con  $i, j \in \mathbb{N}$  a las actividades en cada análisis con subactividades, donde

los  $j$ -ésimos son subactividades de los  $i$ -ésimos, en el caso de no poseer subactividad denotamos  $A_{X_i}$ ,  $i \in \mathbb{N}$  a la actividad, en cualquier caso  $A_{X_i} = \sum_{n=1}^j (A_{X_{(i,j)}})$ ,  $n \in \mathbb{N}$ , tanto para, probabilidad, impacto en costo e impacto en tiempo.

**Definición 2.18** [Actividades y subactividades no observables]

Son aquellas actividades y subactividades no analizadas o que no se descubren y son denotadas por un error  $\epsilon_C(A_{X_i})$ ,  $\epsilon_T(A_{X_i})$ ,  $\epsilon_C(A_{X_{(i,j)}})$ ,  $\epsilon_T(A_{X_{(i,j)}})$ , suelen ser múltiples por cada  $A_X$ , e inciden en el tiempo y costo del análisis, constituyendo  $\epsilon_C(A_X)$ ,  $\epsilon_T(A_X)$ .

**Definición 2.19** [Proyecto inmobiliario  $\mathcal{P}(C, T)$ ]

En un proyecto inmobiliario el exceso de tiempo de desarrollo no es tan sensible (mientras sea razonable) como el exceso de costo del mismo..

Llamamos  $\mathcal{P} = \mathcal{P}(C, T)$  al proyecto inmobiliario definido inicialmente por su prefactibilidad, en función de Costo y Tiempo. Este elemento es el resultado de la simulación y es subjetivo para los interesados, que dado un pronóstico en  $C, T$  el proyecto sea desarrollado o no.

**Definición 2.20** [Tolerancia de Costo y Tiempo en una prefactibilidad inmobiliaria]

Llamamos  $\mathbb{M}_C = [0, 0.25] = [0\%, 20\%]$  al intervalo máximo tolerado de sobrecosto de la pre-factibilidad, teniendo en cuenta que cada proyecto empieza normalmente en 1 millón de dolares indicamos que mas del 25% de sobrecosto relativo al costo inicial, harían que el proyecto no sea viable.

Llamamos  $\mathbb{M}_T = [0, 0.75] = [0\%, 75\%]$  al intervalo máximo tolerado en excedente de tiempo de la pre-factibilidad, teniendo en cuenta que cada proyecto suele durar entre 1.5 y 4 años, estaríamos indicando que mas de 75% de exceso en relación al tiempo inicial planeado, convierte al proyecto en no viable.

Estos conjuntos tomarán validez en la simulación ya que son los máximos tolerados en costo y tiempo y no se deben exceder para que el proyecto sea viable.

**Definición 2.21** [Eventos asociados a un análisis]

Llamamos  $\psi(A_X)$  a eventos, que son generalmente problemas o amenazas asociados a un análisis  $X$  que impactan el tiempo o el costo, cada evento de un análisis posee una probabilidad de ocurrencia  $p(\psi(A_X))$ , salvo los eventos cuyas actividades o subactividades están asociados a los conjuntos  $\mathbb{L}_{q\text{tty}}, \mathbb{L}_{q\text{tty}}$  o los que dependen de tablas, los cuales por definición no la poseen.

**Definición 2.22** [Eventos asociados a una actividad o subactividad]

Llamamos  $\psi(A_{X_i})$ ,  $i \in \mathbb{N}$  a eventos, que son generalmente problemas o amenazas asociados a una actividad  $i$  de un análisis  $A_X$  que impactan el costo o el tiempo, cada evento de

una actividad posee una probabilidad de ocurrencia  $p(\psi(A_{X_i}))$ .

Llamamos  $\psi(A_{X_{(i,j)}})$ ,  $i, j \in \mathbb{N}$  a eventos, que son generalmente problemas o amenazas asociados a una subactividad  $j$  de una actividad  $i$  que impactan el costo o el tiempo, cada evento de una subactividad posee una probabilidad de ocurrencia  $p(\psi(A_{X_{(i,j)}}))$ .

**Definición 2.23** [Impacto de costo y tiempo en un análisis]

Llamamos  $I_C(A_X) \in \mathbb{R}^+$  al impacto en costo sobre el estimado, está dado por la acumulación de eventos de actividades y subactividades del análisis.

Llamamos  $I_T(A_X) \in \mathbb{R}^+$  al impacto en tiempo sobre el estimado, está dado por la acumulación de eventos de actividades y subactividades del análisis.

En cualquier caso no se debe exceder por la derecha las tolerancias  $M_C, M_T$  en la simulación de ningún análisis ya que el proyecto queda inmediatamente descartado.

**Definición 2.24** [Impacto de un evento en costo y tiempo de una actividad o subactividad]

Llamamos  $I_c(A_{X_i}) \in \mathbb{R}^+$ ,  $i \in \mathbb{N}$  al impacto en porcentaje sobre el costo estimado dada la ocurrencia del evento en la actividad.

Llamamos  $I_t(A_{X_i}) \in \mathbb{R}^+$ ,  $i \in \mathbb{N}$  al impacto en porcentaje sobre el tiempo estimado dada la ocurrencia del evento en la actividad.

Llamamos  $I_c(A_{X_{(i,j)}}) \in \mathbb{R}^+$ ,  $i \in \mathbb{N}$  al impacto en porcentaje sobre el costo estimado dada la ocurrencia del evento en la subactividad.

Llamamos  $I_t(A_{X_{(i,j)}}) \in \mathbb{R}^+$ ,  $i \in \mathbb{N}$  al impacto en porcentaje sobre el tiempo estimado dada la ocurrencia del evento en la subactividad. Siempre se deben normalizar los resultados en casos de conjuntos lingüísticos.

**Definición 2.25** [Conjunto de estratos de Colombia]

Llamamos  $\mathbb{E}_C = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  al conjunto que representa los estratos en Colombia a la fecha, avalados por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística).

**Definición 2.26** [Conjunto Lingüístico de Cantidad]

Llamamos  $\mathbb{L}_{q\text{tty}}$  al conjunto

$\mathbb{L}_{q\text{tty}} := \{ \text{Ninguno/a, Muy bajo/a, Bajo/a, Medio/a, Alto/a, Muy Alto/a, Total} \}$

Para efectos de normalización usamos una función  $\|\mathbb{L}_{q\text{tty}}\| = \{0, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 1\}$ , esta función entrega un valor  $l \in \mathbb{L}_{q\text{tty}}$ , para efectos de los impactos en costo y tiempo se suma y resta una desviación válida que está restringida en  $\mathbb{P}$  por la derecha en 1 y la izquierada 0 en caso de que la suma o resta se salga de este conjunto.

**Definición 2.27** [Conjunto Lingüístico de de Calidad]

Llamamos  $\mathbb{L}_{q\text{lty}}$  al conjunto

$\mathbb{L}_{q\text{ltty}} := \{ \textit{Pesimo/a, Muy Malo/a, Malo, Regular/a, Bueno/a, Muy Bueno/a, Excelente} \}$   
 Para efectos de normalización usamos una función  $\|\mathbb{L}_{q\text{ltty}}\| = \{0, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 1\}$ ,  
 esta función entrega un valor  $l \in \mathbb{L}_{q\text{ltty}}$ , para efectos de los impactos e costo y tiempo  
 se suma y resta una desviación válida que está restringida en  $\mathbb{P}$  por la derecha en 1 y la  
 izquierada 0 en caso de que la suma o resta se salga de este conjunto.

### 2.1.1 Conceptualización global de los Análisis $A_X$ en la pre-factibilidad

Todos los análisis matemáticamente se comportarán como funciones con rango  $[0, 1] \in \mathbb{R}$   
 que van desde 0 no viable a 1 viable y estadísticamente en la simulación son submodelos  
 de probabilidad en  $\mathbb{P}$  que serán determinados por sus especificidades siendo nodos de un  
 modelo general logit en  $\mathbb{P}$ .

A partir de ahora entramos a detallar cada análisis con sus actividades, las cuales se  
 valoran por los eventos descartando los de incidencia ínfima y asumiéndolos como errores  
 de observación  $\epsilon$ , cuya suma por análisis no supera el 0.1% en ningún caso.

Cabe destacar que se recolectó información estadística con trabajo de campo para los  
 eventos implicados en los análisis  $\psi(A_X)$  y que será evidenciada con impacto en costo y  
 tiempo que están dentro de  $\mathbb{M}_c$  y  $\mathbb{M}_t$  respectivamente, cada evento exige una probabilidad  
 de ocurrencia.

Cada  $A_X$  posee actividades que pueden estar en  $\mathbb{B}, \mathbb{P}, \mathbb{L}_{q\text{ttty}}, \mathbb{L}_{q\text{ltty}}$  o que depende de tablas  
 y que en la simulación de pre-factibilidad siempre son normalizadas en  $\mathbb{P}$ .

Las probabilidades de ocurrencia de eventos asociados a las actividades y subactividades  
 de los análisis han sido calculadas promediando criterios expertos obtenidos en trabajo de  
 campo donde a través de una jerarquía se obtienen las probabilidades de los análisis, vía

el modelo logit con  $\psi(A_X) = \sum_{n=1}^i (\psi(A_i))$ ,  $i \in \mathbb{N}$ .

Los eventos en las actividades y subactividades impactan la pre-factibilidad en tiempo y  
 costo, y se acumulan en el análisis.

## 2.2 Matemática aplicada a los Análisis $A_X$

Determinamos en cada análisis según su estructura los elementos matemáticos correspon-  
 dientes para describirlo de forma apropiada y que la posterior simulación sea computable  
 con base a estos datos, en cada uno de ellos se evalúa que impacto tendría en el  
 Costo y Tiempo las actividades que poseen eventos indicando para cada una de ellas la  
 probabilidad de ocurrencia e impactos según información obtenida de criterios expertos del  
 sector.

### 2.2.1 $A_J$ Matemática y datos del Análisis Jurídico

El análisis jurídico  $A_J$  posee una actividad con eventos jurídicos que impactan el costo o el tiempo.

- $A_{J_1}$  Estudio de títulos

#### 2.2.1.1 $A_{J_1} \in \mathbb{P}$ Estudio de títulos

La actividad  $A_{J_1}$  : Estudio de títulos, posee dos subactividades con eventos

- $A_{J_{(1,1)}}$  Restitución de tierras
- $A_{J_{(1,2)}}$  Falsa tradición por testaferrato

##### 2.2.1.1.1 $A_{J_{(1,1)}} \in \mathbb{P}$ Restitución de tierras

Evento  $\psi \left( A_{J_{(1,1)}} \right)$  : El proyecto presenta una situación jurídica de restitución de tierras.

Probabilidad de ocurrencia del evento

$$p \left( \psi \left( A_{J_{(1,1)}} \right) \right) \approx 0.001$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{J_{(1,1)}} \right) \in [0.3, 0.7] \Rightarrow I_C \left( A_{J_{(1,1)}} \right) \sim 0.5$$

$$I_T \left( A_{J_{(1,1)}} \right) \in [0.5, 1.0] \Rightarrow I_T \left( A_{J_{(1,1)}} \right) \sim 0.75$$

##### 2.2.1.1.2 $A_{J_{(1,2)}} \in \mathbb{P}$ Falsa tradición por testaferrato

Evento  $\psi \left( A_{J_{(1,2)}} \right)$  : Los títulos tienen falsa tradición por testaferrato.

Probabilidad de ocurrencia del evento

$$p \left( \psi \left( A_{J_{(1,2)}} \right) \right) \approx 0.001$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{J_{(1,2)}} \right) \in [0.5, 1.0] \Rightarrow I_C \left( A_{J_{(1,2)}} \right) \sim 0.75$$

$$I_T \left( A_{J_{(1,2)}} \right) \in [0.5, 1.0] \Rightarrow I_T \left( A_{J_{(1,2)}} \right) \sim 0.75$$

##### 2.2.1.2 $\epsilon(A_J) \in \mathbb{P}$ Otros eventos jurídicos no observados

Error  $\epsilon(A_J)$  Eventos jurídicos no observados.

Impacto en costo y tiempo del error

$$\epsilon_C(A_J) \in [0.03, 0.05] \Rightarrow \epsilon_C(A_J) \sim 0.04$$

$$\epsilon_T(A_J) \in [0.05, 0.1] \Rightarrow \epsilon_T(A_J) \sim 0.075$$

### 2.2.2 $A_T \in \mathbb{P}$ Matemática y datos del Análisis Técnico

El análisis técnico  $A_T$  posee nueve actividades con eventos jurídicos que impactan el costo o el tiempo.

- $A_{T_1}$  Vías de Acceso
- $A_{T_2}$  Topografía
- $A_{T_3}$  Fuentes de agua
- $A_{T_4}$  Torres de energía
- $A_{T_5}$  Asoleamiento
- $A_{T_6}$  Restricciones en altura
- $A_{T_7}$  Sistema constructivo
- $A_{T_8}$  Estudios especiales
- $A_{T_9}$  Solicitud de servicios públicos

#### 2.2.2.1 $A_{T_1} \in \mathbb{P}$ Vías de Acceso

La actividad  $A_{T_1}$  : Vías de Acceso, posee tres subactividades con eventos

- $A_{T_{(1,1)}}$  Obligaciones o afectaciones viales
- $A_{T_{(1,2)}}$  Vías obligadas
- $A_{T_{(1,3)}}$  Ampliación o rectificación de vías

##### 2.2.2.1.1 $A_{T_{(1,1)}} \in \mathbb{P}$ Obligaciones o afectaciones viales

Evento  $\psi(A_{T_{(1,1)}})$  : Presencia obligaciones o afectaciones viales.

Probabilidad de ocurrencia del evento

$$p(\psi(A_{T_{(1,1)}})) \approx 0.025$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{T_{(1,1)}}) \in [0.0, 0.01] \Rightarrow I_C(A_{T_{(1,1)}}) \sim 0.005$$

$$I_T(A_{T_{(1,1)}}) \in [0.0, 0.10] \Rightarrow I_T(A_{T_{(1,1)}}) \sim 0.05$$

##### 2.2.2.1.2 $A_{T_{(1,2)}} \in \mathbb{B}$ Vías obligadas

Evento  $\psi(A_{T_{(1,2)}})$  : Presencia de vías obligadas.

Probabilidad de ocurrencia del evento

$$p(\psi(A_{T_{(1,2)}})) \approx 0.2$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{T(1,2)} \right) \in [0.0, 0.05] \Rightarrow I_C \left( A_{T(1,2)} \right) \sim 0.025$$

$$I_T \left( A_{T(1,2)} \right) \in [0.0, 0.01] \Rightarrow I_T \left( A_{T(1,2)} \right) \sim 0.005$$

### 2.2.2.1.3 $A_{T(1,3)} \in \mathbb{B}$ Ampliación o rectificación de vías

Evento  $\psi \left( A_{T(1,3)} \right)$  : Se deben ampliar o rectificar vías.

$$p \left( \psi \left( A_{T(1,3)} \right) \right) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{T(1,3)} \right) \in [0.035, 0.065] \Rightarrow I_C \left( A_{T(1,3)} \right) \sim 0.05$$

$$I_T \left( A_{T(1,3)} \right) \in [0.05, 0.15] \Rightarrow I_T \left( A_{T(1,3)} \right) \sim 0.1$$

### 2.2.2.2 $A_{T_2} \in \mathbb{P}$ Topografía

La actividad  $A_{T_2}$  : Topografía, posee tres subactividades con eventos.

- $A_{T(2,1)}$  Topografía del predio
- $A_{T(2,2)}$  Redes subterráneas
- $A_{T(2,3)}$  Forma geométrica del terreno

#### 2.2.2.2.1 $A_{T(2,1)} \in \mathbb{P}$ Topografía del predio

Evento  $\psi \left( A_{T(2,1)} \right)$  : Predio con topografía plana  $t_p$ , inclinada  $t_i$  o mixta  $t_m$ .

Estos eventos son disjuntos con probabilidad  $p \left( \psi \left( A_{T(2,1)} \right) \right) = 0.3\bar{3}$

Impacto en costo y tiempo de los eventos

$$\left\{ I_C \left( A_{T(2,1)} \right) , I_t \left( A_{T(2,1)} \right) \right\} = \begin{cases} I_C \left( A_{T(2,1)} \right) = [0.04, 0.06] , I_t \left( A_{T(2,1)} \right) = [0.00, 0.01] & \text{si } t_p \\ I_C \left( A_{T(2,1)} \right) = [0.04, 0.06] , I_t \left( A_{T(2,1)} \right) = [0.04, 0.06] & \text{si } t_i \\ I_C \left( A_{T(2,1)} \right) = [0.99, 0.11] , I_t \left( A_{T(2,1)} \right) = [0.00, 0.02] & \text{si } t_m \end{cases}$$

#### 2.2.2.2.2 $A_{T(2,2)} \in \mathbb{B}$ Redes subterráneas

Evento  $\psi \left( A_{T(2,2)} \right)$  : Redes subterráneas presentes.

$$p \left( \psi \left( A_{T(2,2)} \right) \right) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{T(2,2)} \right) \in [0.0, 0.01] \Rightarrow I_C \left( A_{T(2,2)} \right) \approx 0.005$$

$$I_T \left( A_{T(2,2)} \right) \in [0.005, 0.015] \Rightarrow I_T \left( A_{T(2,2)} \right) \approx 0.01$$

**2.2.2.2.3**  $A_{T(2,3)} \in \mathbb{P}$  **Forma geométrica del terreno**

Evento  $\psi(A_{T(2,3)})$  : Terreno inapropiado arquitectónicamente.

$$p(\psi(A_{T(2,3)})) \approx 0.01$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{T(2,3)}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C(A_{T(2,3)}) = 0.0$$

$$I_T(A_{T(2,3)}) \in [0.05, 0.015] \Rightarrow I_T(A_{T(2,3)}) \approx 0.01$$

**2.2.2.3**  $A_{T_3} \in \mathbb{P}$  **Fuentes de aguas**

Evento  $\psi(A_{T_3})$  : Necesidad de tratamientos y retiros.

$$p(\psi(A_{T_3})) \approx 0.07$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{T_3}) \in [0.0, 0.01] \Rightarrow I_C(A_{T_3}) \approx 0.005$$

$$I_T(A_{T_3}) \in [0.015, 0.025] \Rightarrow I_T(A_{T_3}) \approx 0.02$$

**2.2.2.4**  $A_{T_4} \in \mathbb{P}$  **Torres de energía**

Evento  $\psi(A_{T_4})$  : Presencia de torres de energía.

$$p(\psi(A_{T_4})) \approx 0.001$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{T_4}) \in [0.0, 0.01] \Rightarrow I_C(A_{T_4}) \approx 0.005$$

$$I_T(A_{T_4}) \in [0.005, 0.015] \Rightarrow I_T(A_{T_4}) \approx 0.01$$

**2.2.2.5**  $A_{T_5} \in \mathbb{P}$  **Asoleamiento**

Evento  $\psi(A_{T_5})$  : Poniente no adecuado arquitectónicamente.

$$p(\psi(A_{T_5})) \approx 0.15$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{T_5}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C(A_{T_5}) = 0.0$$

$$I_T(A_{T_5}) \in [0.005, 0.015] \Rightarrow I_T(A_{T_5}) \approx 0.01$$

**2.2.2.6**  $A_{T_6} \in \mathbb{P}$  **Altura de las unidades**

Evento  $\psi(A_{T_6})$  : Edificios sin ascensor.

*Si los edificios o torres no poseen ascensores, se genera afectación en las ventas*

$$p(\psi(A_{T_6})) \approx 0.03$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C (A_{T_6}) \in [0.0, 0.1] \Rightarrow I_C (A_{T_6}) \approx 0.05$$

$$I_T (A_{T_6}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T (A_{T_6}) = 0.0$$

### 2.2.2.7 $A_{T_7} \in \mathbb{P}$ Sistema constructivo

Evento  $\psi (A_{T_7})$  : Sistema constructivo tradicional  $c_t$ , industrializado  $c_i$ , mampostería post-tensada  $c_p$ , mampostería estructural  $c_e$  o aporticado  $c_a$ .

Estos eventos son disjuntos con probabilidad  $p (\psi (A_{T_7})) = 0.2$

Impacto en costo y tiempo de los eventos

$$\{I_C (A_{T_7}) , I_t (A_{T_7})\} = \begin{cases} I_C (A_{T_7}) = [0.00, 0.00] , I_t (A_{T_7}) = [0.00, 0.00] & \text{si } c_t \\ I_C (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] , I_t (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] & \text{si } c_i \\ I_C (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] , I_t (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] & \text{si } c_p \\ I_C (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] , I_t (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] & \text{si } c_e \\ I_C (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] , I_t (A_{T_7}) = [0.02, 0.04] & \text{si } c_a \end{cases}$$

### 2.2.2.8 $A_{T_8}$ Estudios especiales

Evento  $\psi (A_{T_8})$  : Necesidad de estudios especiales.

$$p (\psi (A_{T_8})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C (A_{T_8}) \in [0.0, 0.1] \Rightarrow I_C (A_{T_8}) \approx 0.05$$

$$I_T (A_{T_8}) \in [0.0, 0.002] \Rightarrow I_T (A_{T_8}) \approx 0.001$$

### 2.2.2.9 $A_{T_9}$ Servicios públicos

Evento  $\psi (A_{T_9})$  : Solicitud de servicios públicos atrasados por entidades.

$$p (\psi (A_{T_9})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C (A_{T_9}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C (A_{T_9}) = 0.0$$

$$I_T (A_{T_9}) \in [0.15, 0.45] \Rightarrow I_T (A_{T_9}) \approx 0.3$$

### 2.2.2.10 $\epsilon(A_T) \in \mathbb{P}$ Otros eventos técnicos no observados

Error  $\epsilon_C (A_T)$  Eventos técnicos no observados.

Impacto en costo y tiempo del error

$$\epsilon_C (A_T) \in [0.03, 0.05] \Rightarrow \epsilon_C (A_T) \sim 0.04$$

$$\epsilon_T (A_T) \in [0.01, 0.03] \Rightarrow \epsilon_T (A_T) \sim 0.02$$

### 2.2.3 $A_C$ Matemática y datos del Análisis Comercial

El análisis comercial  $A_C$  posee nueve actividades con eventos comerciales que impactan el costo o el tiempo.

- $A_{C_1}$  Crecimiento económico por región
- $A_{C_2}$  Ambiente político
- $A_{C_3}$  Ambiente legal
- $A_{R_1}$  Ubicación
- $A_{C_5}$  Competencia
- $A_{C_6}$  Estrategia comercial
- $A_{C_7}$  Estimación de oferta
- $A_{C_8}$  Empleo por estrato
- $A_{C_9}$  Ingresos por estrato

#### 2.2.3.1 $A_{C_1}$ Crecimiento económico por región

Evento  $\psi (A_{C_1})$  : Crecimiento económico mediocre en el área de influencia del proyecto.

*A menor crecimiento económico en una región, menor capacidad de compra*

Se normaliza el resultado de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\|$  considerando mediocre los elementos

Ninguno, Muy bajo, Bajo de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C (A_{C_1}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.1$$

$$I_T (A_{C_1}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.2$$

#### 2.2.3.2 $A_{C_2}$ Ambiente político

La actividad  $A_{C_2}$  : Ambiente político, posee dos subactividades con eventos

- $A_{T(2,1)}$  Situación política
- $A_{T(2,2)}$  Ciclo político por estrato

##### 2.2.3.2.1 $A_{C(2,1)}$ Situación política

Evento  $\psi (A_{C_2})$  : Situación política no apropiados.

*Si hay un escenario político confuso o negativo se genera menor interés de inversión, puede*

*ser de orden nacional, departamental o municipal*

Se normaliza el resultado de  $\mathbb{L}_{q1ty}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q1ty}\|$  considerando no apropiados elementos Pésimo, Muy Malo, Malo, Regular de  $\mathbb{L}_{q1ty}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_{(2,1)}}) = ((\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.15) \pm 0.02$$

$$I_T(A_{C_{(2,1)}}) = ((\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.25) \pm 0.05$$

### 2.2.3.2 $A_{C_{(2,2)}}$ Ciclo político por estrato

Evento  $\psi(A_{C_{(2,2)}})$  : Relación del estrato y el inicio o fin del ciclo político situación política.

*Este evento tiene mayor influencia en los estratos altos 5 y 6, quienes toman decisiones de inversión con base a consideraciones políticas, en menor medida los estratos medios 3 y 4.*

Se basa en los resultados de la tabla  $T_{A_{C_2}}$  cuyo resultado es normalizado en  $\mathbb{L}_{q1ty}$ . Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_{(2,2)}}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.05$$

$$I_T(A_{C_{(2,2)}}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.1$$

### 2.2.3.3 $A_{C_3}$ Ambiente legal

Evento  $\psi(A_{T_3})$  Presencia de eventos legales negativos.

Se normaliza el resultado de  $\mathbb{L}_{q1ty}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q1ty}\|$  considerando eventos legales negativos Pésimo, Muy Malo, Malo, Regular de  $\mathbb{L}_{q1ty}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_3}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.01$$

$$I_T(A_{C_3}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.05$$

### 2.2.3.4 $A_{C_4}$ Ubicación

Evento  $\psi(A_{C_4})$  Ubicación en zonas violentas o inseguras.

$$p(\psi(A_{C_4})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_4}) \in [0.0, 0.1] \Rightarrow I_C(A_{C_4}) \approx 0.05$$

$$I_T(A_{C_4}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T(A_{C_4}) = 0.0$$

### 2.2.3.5 $A_{C_5}$ Competencia

La actividad  $A_{C_5}$  : Competencia, posee tres subactividades con eventos

- $A_{C(5,1)}$  Competencia en el sector
- $A_{C(5,2)}$  Proyectos similares en sector
- $A_{C(5,3)}$  Valor  $m^2$

### 2.2.3.5.1 $A_{C(5,1)}$ Competencia en el sector

$\psi(A_{C(5,1)})$  : Presencia de competencia en el sector de influencia del proyecto.

Se normaliza el resultado de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\|$  considerando la competencia en el sector siendo negativo Alta, Muy Alta, Total de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C(5,1)}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.01$$

$$I_T(A_{C(5,1)}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.02$$

### 2.2.3.5.2 $A_{C(5,2)}$ Proyectos similares en sector

$\psi(A_{C(5,2)})$  : Ubicación de proyectos similares en el sector de influencia.

Se normaliza el resultado de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\|$  considerando la cantidad de proyectos en el sector, siendo negativo Alto/a, Muy Alto/a de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C(5,2)}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.02$$

$$I_T(A_{C(5,2)}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.05$$

### 2.2.3.5.3 $A_{C(5,3)}$ Valor $m^2$

$\psi(A_{C(5,3)})$  : Comparación del valor de  $m^2$  comparado el promedio del sector.

Se normaliza el resultado de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\|$  comparando con el metro cuadrado del sector, siendo negativo Alto, Muy Alto de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C(5,3)}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.05$$

$$I_T(A_{C(5,3)}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.02$$

### 2.2.3.6 $A_{C_6}$ Estrategia comercial

$\psi(A_{C_6})$  Estrategia comercial ineficiente.

$$p(\psi(A_{C_6})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_6}) \in [0.0, 0.02] \Rightarrow I_C(A_{C_6}) \approx 0.01$$

$$I_T(A_{C_6}) \in [0.15, 0.45] \Rightarrow I_T(A_{C_6}) \approx 0.3$$

### 2.2.3.7 $A_{C_7}$ Estimación de oferta

La actividad  $A_{C_7}$  : Estimación de oferta, posee tres subactividades con eventos

- $A_{C_{(7,1)}}$  Sobreoferta
- $A_{C_{(7,2)}}$  Burbujas
- $A_{C_{(7,3)}}$  Capacidad de inversión

#### 2.2.3.7.1 $A_{C_{(7,1)}}$ Sobreoferta

$\psi(A_{C_{(7,1)}})$  : Se presenta sobre oferta inmobiliaria en la región.

$$p(\psi(A_{C_{(7,1)}})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_{(7,1)}}) \in [0.0, 0.02] \Rightarrow I_C(A_{C_{(7,1)}}) \approx 0.01$$

$$I_T(A_{C_{(7,1)}}) \in [0.15, 0.45] \Rightarrow I_T(A_{C_{(7,1)}}) \approx 0.3$$

#### 2.2.3.7.2 $A_{C_{(7,2)}}$ Burbujas

$\psi(A_{C_{(7,2)}})$  : Hay una burbuja inmobiliaria en el país.

$$p(\psi(A_{C_{(7,2)}})) \approx 0.001$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_{(7,2)}}) \in [0.0, 0.5] \Rightarrow I_C(A_{C_{(7,2)}}) \approx 0.25$$

$$I_T(A_{C_{(7,2)}}) \in [0.5, 1.0] \Rightarrow I_T(A_{C_{(7,2)}}) \approx 0.75$$

#### 2.2.3.7.3 $A_{C_{(7,3)}}$ Capacidad de inversión

$\psi(A_{C_{(7,3)}})$  Deficiente capacidad de inversión.

Se normaliza sobre  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\|$  siendo negativo Alto, Muy Alto de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_{(7,3)}}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.05$$

$$I_T(A_{C_{(7,3)}}) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.25$$

### 2.2.3.8 $A_{C_8}$ Empleo por estrato

$\psi(A_{C_8})$  Relación del estrato y el empleo negativa.

Se basa en los resultados de la tabla  $T_{A_{C_8}}$  cuyo resultado  $l$  es normalizado en  $\mathbb{L}_{q\text{lt}y}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_8}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.5$$

$$I_T(A_{C_8}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.25$$

### 2.2.3.9 $A_{C_9}$ Ingresos por estrato

$\psi(A_{C_9})$  Relación del estrato y los ingresos negativa.

Se basa en los resultados de la tabla  $T_{A_{C_9}}$  cuyo resultado es normalizado en  $\mathbb{L}_{q1ty}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C_9}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.5$$

$$I_T(A_{C_9}) = (\|\mathbb{L}_{q1ty}\| \pm 0.01) \times 0.25$$

### 2.2.3.10 $\epsilon(A_C) \in \mathbb{P}$ Otros eventos comerciales no observados

Error  $\epsilon(A_C)$  Eventos comerciales no observados.

Impacto en costo y tiempo del error

$$\epsilon_C(A_C) \in [0.03, 0.05] \Rightarrow \epsilon_C(A_C) \sim 0.04$$

$$\epsilon_T(A_C) \in [0.01, 0.03] \Rightarrow \epsilon_T(A_C) \sim 0.02$$

## 2.2.4 $A_N$ Matemática y datos del Análisis Normativo

En el análisis normativo se tiene en cuenta que algunas actividades o subactividades presentan eventos que no impactan el costo ni el tiempo, ya que son consultas técnicas que se deben realizar antes de estudiar la prefactibilidad y en el caso de presentar una situación de inviabilidad, no se procede a estudiarla, además aunque hubiese errores humanos, la misma normatividad impediría la ejecución inicial, así que incluiremos estos errores humanos en los errores no observados del análisis.

El análisis normativo  $A_N$  posee siete actividades con eventos normativos que impactan el costo o el tiempo.

- $A_{N_1}$  Dirección del predio
- $A_{N_2}$  POT
- $A_{N_3}$  Datos normativos
- $A_{N_4}$  Construcciones
- $A_{N_5}$  Anteproyectos y planes parciales
- $A_{N_6}$  Obligaciones determinables
- $A_{N_7}$  Obligaciones indeterminables

Las actividades de este análisis suelen ser consultas técnicas a información oficial o normas establecidas, por tanto algunas actividades no poseen eventos.

#### 2.2.4.1 $A_{N_1}$ Dirección del predio

$\psi(A_{N_1})$  Datos oficiales de la dirección del predio, por ejemplo el SINUTAP.

No se encuentran eventos en esta actividad obligatoria ya que es una consulta técnica a documentación oficial.

$$p(\psi(A_{N_1})) = 1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{N_1}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C(A_{N_1}) = 0.0$$

$$I_T(A_{N_1}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T(A_{N_1}) = 0.0$$

#### 2.2.4.2 $A_{N_2}$ POT

La actividad  $A_{N_2}$  : POT (Plan de Ordenamiento Territorial) posee tres subactividades con eventos

- $A_{N(2,1)}$  Restricciones del POT
- $A_{N(2,2)}$  Cambio de POT
- $A_{N(2,3)}$  Uso del suelo

##### 2.2.4.2.1 $A_{N(2,1)}$ Restricciones del POT

Evento  $\psi(A_{N(2,1)})$  : Restricciones del POT (Plan de Ordenamiento Territorial).

No se encuentran eventos en esta actividad obligatoria ya que es una consulta técnica a documentación oficial, puede disminuir la perspectiva de desarrollo esperada.

$$p(\psi(A_{N(2,1)})) = 1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{N(2,1)}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C(A_{N(2,1)}) = 0.0$$

$$I_T(A_{N(2,1)}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T(A_{N(2,1)}) = 0.0$$

##### 2.2.4.2.2 $A_{N(2,2)}$ Cambio POT

Evento  $\psi(A_{N(2,2)})$  : Cambio del POT (Plan de Ordenamiento Territorial).

$$p(\psi(A_{N(2,2)})) \approx 0.01$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{N_{(2,2)}} \right) \in [0.1, 0.3] \Rightarrow I_C \left( A_{N_{(2,2)}} \right) \approx 0.15$$

$$I_T \left( A_{N_{(2,2)}} \right) \in [0.2, 0.5] \Rightarrow I_T \left( A_{N_{(2,2)}} \right) \approx 0.35$$

### 2.2.4.2.3 $A_{N_{(2,3)}}$ Uso del suelo

Evento  $\psi \left( A_{N_{(2,3)}} \right)$  : Uso del suelo.

Se basa en los resultados de la tabla  $T_{A_{N_{(2,3)}}$  cuyo resultado es normalizado en  $\mathbb{L}_{q\text{tty}}$ .

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{N_{(2,3)}} \right) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tty}}\| \pm 0.01) \times 0.05$$

$$I_T \left( A_{N_{(2,3)}} \right) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tty}}\| \pm 0.01) \times 0.02$$

### 2.2.4.3 $A_{N_3}$ Datos normativos

#### 2.2.4.3.1 $A_{N_{(3,1)}}$ Densidades

Evento  $\psi \left( A_{N_{(3,1)}} \right)$  : Cálculo de densidades por norma.

No se encuentran eventos en esta actividad obligatoria ya que es una consulta técnica a documentación oficial. *Este evento aunque no impacta puede disminuir o mejorar la perspectiva inicial del desarrollo.*  $p \left( \psi \left( A_{N_{10}} \right) \right) = 1$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{N_{10}} \right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C \left( A_{N_{10}} \right) = 0.0$$

$$I_T \left( A_{N_{10}} \right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T \left( A_{N_{10}} \right) = 0.0$$

#### 2.2.4.3.2 $A_{N_{(3,2)}}$ Índice de construcción

Evento  $\psi \left( A_{N_{(3,2)}} \right)$  : Índice de construcción.

No se encuentran eventos en esta actividad obligatoria ya que es una consulta técnica a documentación oficial.

*Este evento aunque no impacta puede disminuir o mejorar la perspectiva inicial del desarrollo.*

$$p \left( \psi \left( A_{N_{(3,2)}} \right) \right) = 1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{N_{(3,2)}} \right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C \left( A_{N_{(3,2)}} \right) = 0.0$$

$$I_T \left( A_{N_{(3,2)}} \right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T \left( A_{N_{(3,2)}} \right) = 0.0$$

#### 2.2.4.3.3 $A_{N_{(3,3)}}$ Índice de ocupación

Evento  $\psi \left( A_{N_{(3,3)}} \right)$  : Índice de ocupación.

No se encuentran eventos en esta actividad obligatoria ya que es una consulta técnica a documentación oficial *Este evento aunque no impacta puede disminuir o mejorar la perspectiva inicial del desarrollo. Este evento aunque no impacta puede disminuir o mejorar la perspectiva inicial del desarrollo.*

$$p\left(\psi\left(A_{N_{(3,3)}}\right)\right) = 1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C\left(A_{N_{(3,3)}}\right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C\left(A_{N_{(3,3)}}\right) = 0.0$$

$$I_T\left(A_{N_{(3,3)}}\right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T\left(A_{N_{(3,3)}}\right) = 0.0$$

#### 2.2.4.4 $A_{N_4}$ Anteproyectos y planes parciales

$\psi(A_{N_4})$  Creación de anteproyectos o planes parciales para los interesados.

No se encuentran eventos en esta actividad obligatoria ya que es una consulta técnica a documentación oficial.  $p(\psi(A_{N_4})) = 1$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{N_4}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C(A_{N_4}) = 0.0$$

$$I_T(A_{N_4}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T(A_{N_4}) = 0.0$$

#### 2.2.4.5 $A_{N_5}$ Obligaciones determinables

$\psi(A_{N_5})$  Obligaciones de costos por procesos de normatividad mal determinados.

$$p(\psi(A_{N_5})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{N_5}) \in [0.05, 0.10] \Rightarrow I_C(A_{N_5}) \approx 0.075$$

$$I_T(A_{N_5}) \in [0.1, 0.3] \Rightarrow I_T(A_{N_5}) \approx 0.2$$

#### 2.2.4.6 $A_{N_6}$ Obligaciones indeterminables

La actividad  $A_{N_6}$  : Obligaciones Indeterminable posee tres subactividades con eventos que impactan el tiempo y costo.

*Obligaciones por procesos de normatividad que dependen de entidades aplazadas detenidas, esta actividad se considera crítica y depende de la región y puede tener un incremento hasta del 200% en costo o tiempo.*

- $A_{N_{(6,1)}}$  Ineptitud
- $A_{N_{(6,1)}}$  Retraso intencional
- $A_{N_{(6,2)}}$  Corrupción

### 2.2.4.6.1 $A_{N(6,1)}$ Ineptitud

$\psi(A_{N(6,1)})$  : Errores humanos en instituciones.

$$p(\psi(A_{N(6,1)})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{N(6,1)}) \in [0.0, 0.08] \Rightarrow I_C(A_{N(6,1)}) \approx 0.04$$

$$I_T(A_{N(6,1)}) \in [0.05, 0.11] \Rightarrow I_T(A_{N(6,1)}) \approx 0.08$$

### 2.2.4.6.2 $A_{N(6,2)}$ Retraso intencional

Evento  $\psi(A_{N(6,2)})$  : Retraso malintencionado por parte de entidades.

*Este evento se presenta bastante en el país y se considera crítico.*  $p(\psi(A_{N(6,2)})) \approx 0.2$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{C(6,2)}) \in [0.15, 0.25] \Rightarrow I_C(A_{C(6,2)}) \approx 0.2$$

$$I_T(A_{C(6,2)}) \in [0.5, 1.0] \Rightarrow I_T(A_{C(6,2)}) \approx 0.75$$

### 2.2.4.6.3 $A_{N(6,3)}$ Corrupción

Evento  $\psi(A_{N(6,3)})$  : Corrupción y sobornos.

*Este evento se presenta demasiado en el país y se considera crítico.* Evento  $p(\psi(A_{N(6,3)})) \approx 0.25$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{N(6,3)}) \in [0.15, 0.25] \Rightarrow I_C(A_{N(6,3)}) \approx 0.5$$

$$I_T(A_{N(6,3)}) \in [0.7, 1.0] \Rightarrow I_T(A_{N(6,3)}) \approx 0.85$$

### 2.2.4.7 $\epsilon(A_N) \in \mathbb{P}$ Otros eventos normativos no observados

Error  $\epsilon(A_N)$  Eventos normativos no observados.

Impacto en costo y tiempo del error

$$\epsilon_C(A_N) \in [0.00, 0.01] \Rightarrow \epsilon_C(A_N) \sim 0.005$$

$$\epsilon_T(A_N) \in [0.00, 0.01] \Rightarrow \epsilon_T(A_N) \sim 0.005$$

## 2.2.5 $A_R$ Matemática y datos del Análisis de Riesgos

El análisis de riesgos  $A_R$  posee nueve actividades con eventos normativos que impactan el costo o el tiempo.

- $A_{R_1}$  Riesgos Naturales
- $A_{R_2}$  Riesgos Psicosociales

- $A_{R_3}$  Riesgos Financieros
- $A_{R_4}$  Riesgos de diseño
- $A_{R_5}$  Riesgos Operacionales
- $A_{R_6}$  Riesgos Técnicos
- $A_{R_7}$  Riesgos de Construcción
- $A_{R_8}$  Riesgos en la Calidad
- $A_{R_9}$  Riesgos exógenos

### 2.2.5.1 $A_{R_1}$ Riesgos naturales

$\psi(A_{R_1})$  Eventos naturales peligrosos para el proyecto  $r_n$ : Terremotos, huracanes, etc.

Evento  $\psi(A_{R_1})$  : Eventos naturales peligrosos para el proyecto.

$$p(\psi(A_{R_1})) \approx 0.001$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R_1}) \in [0.01, 0.05] \Rightarrow I_C(A_{R_1}) \approx 0.03$$

$$I_T(A_{R_1}) \in [0.5, 1.0] \Rightarrow I_T(A_{R_1}) \approx 0.75$$

### 2.2.5.2 $A_{R_2}$ Riesgos psicosociales

Evento  $\psi(A_{R_2})$  Eventos problemáticos generados por personas, por ejemplo robo, incendio de material, etc.

$$p(\psi(A_{R_2})) \approx 0.03$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R_2}) \in [0.01, 0.05] \Rightarrow I_C(A_{R_2}) \approx 0.03$$

$$I_T(A_{R_2}) \in [0.01, 0.1] \Rightarrow I_T(A_{R_2}) \approx 0.055$$

### 2.2.5.3 $A_{R_3}$ Riesgos financieros

Evento  $\psi(A_{R_3})$  Eventos financieros negativos, por ejemplo Inflación, disponibilidad de fondos etc.

$$p(\psi(A_{R_3})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R_3}) \in [0.03, 0.05] \Rightarrow I_C(A_{R_3}) \approx 0.04$$

$$I_T(A_{R_3}) \in [0.1, 0.2] \Rightarrow I_T(A_{R_3}) \approx 0.15$$

#### 2.2.5.4 $A_{R_4}$ Riesgos de diseño

Evento  $\psi(A_{R_4})$  Eventos de diseño peligrosos para el proyecto, por ejemplo diseños incompletos, cálculos errados, etc.

$$p(\psi(A_{R_4})) \approx 0.02$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R_4}) \in [0.05, 0.15] \Rightarrow I_C(A_{R_4}) \approx 0.1$$

$$I_T(A_{R_4}) \in [0.1, 0.4] \Rightarrow I_T(A_{R_4}) \approx 0.25$$

#### 2.2.5.5 $A_{R_5}$ Riesgos operacionales

Evento  $\psi(A_{R_5})$  Eventos que desfavorecen el proyecto, por ejemplo huelgas, baja productividad, etc.

$$p(\psi(A_{R_5})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R_5}) \in [0.005, 0.015] \Rightarrow I_C(A_{R_5}) \approx 0.01$$

$$I_T(A_{R_5}) \in [0.05, 0.10] \Rightarrow I_T(A_{R_5}) \approx 0.075$$

#### 2.2.5.6 $A_{R_6}$ Riesgos técnicos

La actividad  $A_{R_6}$  : Riesgos técnicos, posee cuatro subactividades con eventos

- $A_{R_{(6,1)}}$  Suelos y contenciones
- $A_{R_{(6,2)}}$  Cambios de obra
- $A_{R_{(6,3)}}$  Diseños arquitectónicos
- $A_{R_{(6,4)}}$  Cálculos constructivos

##### 2.2.5.6.1 $A_{R_{(6,1)}}$ Suelos y contenciones

Evento  $\psi(A_{R_{(6,1)}})$  : Suelos y contenciones mal estructurados.

$$p(\psi(A_{R_{(6,1)}})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R_{(6,1)}}) \in [0.08, 0.12] \Rightarrow I_C(A_{R_{(6,1)}}) \approx 0.1$$

$$I_T(A_{R_{(6,1)}}) \in [0.05, 0.20] \Rightarrow I_T(A_{R_{(6,1)}}) \approx 0.125$$

##### 2.2.5.6.2 $A_{R_{(6,2)}}$ Cambios de obra

Evento  $\psi(A_{R_{(6,2)}})$  : Se presentan cambios de obra en el proyecto.

Se normaliza el resultado de  $\mathbb{L}_{q\text{tty}}$  aplicando  $\|\mathbb{L}_{q\text{tty}}\|$  siendo negativo Alto, Muy Alto,

Total de  $\mathbb{L}_{q\text{tt}y}$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{C(6,2)} \right) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.1 \pm 0.02$$

$$I_T \left( A_{C(6,2)} \right) = (\|\mathbb{L}_{q\text{tt}y}\| \pm 0.01) \times 0.3 \pm 0.05$$

### 2.2.5.6.3 $A_{R(6,3)}$ Mal diseño

Evento  $\psi \left( A_{R(6,3)} \right)$  : Mal diseño.

$$p \left( \psi \left( A_{R(6,3)} \right) \right) \approx 0.03$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(6,3)} \right) \in [0.2, 0.4] \Rightarrow I_C \left( A_{R(6,3)} \right) \approx 0.3$$

$$I_T \left( A_{R(6,3)} \right) \in [0.4, 0.6] \Rightarrow I_T \left( A_{R(6,3)} \right) \approx 0.5$$

### 2.2.5.6.4 $A_{R(6,4)}$ Malos cálculos

Evento  $\psi \left( A_{R(6,4)} \right)$  : Malos cálculos.

$$p \left( \psi \left( A_{R(6,4)} \right) \right) \approx 0.01$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(6,4)} \right) \in [0.35, 0.65] \Rightarrow I_C \left( A_{R(6,4)} \right) \approx 0.5$$

$$I_T \left( A_{R(6,4)} \right) \in [0.75, 0.95] \Rightarrow I_T \left( A_{R(6,4)} \right) \approx 0.85$$

### 2.2.5.7 $A_{R_7}$ Riesgos de construcción

La actividad  $A_{R_7}$  : Riesgos de construcción, posee dos subactividades con eventos

- $A_{R(7,1)}$  Clima
- $A_{R(7,2)}$  Suministros
- $A_{R(7,3)}$  Mala construcción

#### 2.2.5.7.1 $A_{R(7,1)}$ Clima

Evento  $\psi \left( A_{R(7,1)} \right)$  : Clima desfavorable.

*Incide principalmente en proyectos en fases preliminares o al aire libre.*  $p \left( \psi \left( A_{R(7,1)} \right) \right) \approx 0.05$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(7,1)} \right) \in [0.01, 0.03] \Rightarrow I_C \left( A_{R(7,1)} \right) \approx 0.02$$

$$I_T \left( A_{R(7,1)} \right) \in [0.1, 0.5] \Rightarrow I_T \left( A_{R(7,1)} \right) \approx 0.3$$

### 2.2.5.7.2 $A_{R(7,2)}$ Suministros

Evento  $\psi(A_{R(7,2)})$  : Suministros retrasados, permisos o licencias no concedidos.

$$p(\psi(A_{R(7,2)})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R(7,2)}) \in [0.01, 0.02] \Rightarrow I_C(A_{R(7,2)}) \approx 0.015$$

$$I_T(A_{R(7,2)}) \in [0.05, 0.15] \Rightarrow I_T(A_{R(7,2)}) \approx 0.10$$

### 2.2.5.7.3 $A_{R(7,3)}$ Mala Construcción

Evento  $\psi(A_{R(7,3)})$  : Mala construcción o construcción deficiente.

$$p(\psi(A_{R(7,3)})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R(7,3)}) \in [0.1, 0.5] \Rightarrow I_C(A_{R(7,3)}) \approx 0.3$$

$$I_T(A_{R(7,3)}) \in [0.2, 0.8] \Rightarrow I_T(A_{R(7,3)}) \approx 0.5$$

### 2.2.5.8 $A_{R_8}$ Riesgos en la calidad

La actividad  $A_{R_8}$  : Riesgos que afectan la calidad posee dos subactividades con eventos que inciden en costo o tiempo.

- $A_{R(8,1)}$  Conformidad del proyecto
- $A_{R(8,2)}$  Conformidad de materiales

#### 2.2.5.8.1 $A_{R(8,1)}$ Conformidad del proyecto

Evento  $\psi(A_{R(8,1)})$  : Mala conformidad.

*Los clientes o inversores no están conformes con las características del proyecto.*

$$p(\psi(A_{R(8,1)})) \approx 0.02$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{R(8,1)}) \in [0.05, 0.15] \Rightarrow I_C(A_{R(8,1)}) \approx 0.1$$

$$I_T(A_{R(8,1)}) \in [0.1, 0.3] \Rightarrow I_T(A_{R(8,1)}) \approx 0.2$$

#### 2.2.5.8.2 $A_{R(8,2)}$ Conformidad de materiales

$\psi(A_{R(8,2)})$  : Materiales no conformes.

*La interventoría o el constructor no aprueba los materiales en alguna fase del proyecto.*

$$p(\psi(A_{R(8,2)})) \approx 0.03$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(8,2)} \right) \in [0.01, 0.03] \Rightarrow I_C \left( A_{R(8,2)} \right) \approx 0.02$$

$$I_T \left( A_{R(8,2)} \right) \in [0.05, 0.25] \Rightarrow I_T \left( A_{R(8,2)} \right) \approx 0.15$$

### 2.2.5.9 $A_{R_9}$ Riesgos exógenos

La actividad  $A_{R_9}$  : Riesgos exógenos, posee seis subactividades con eventos que inciden en costo o tiempo.

*Esta actividad se refiere a los permisos que dependen de terceros.*

- $A_{R(9,1)}$  Entidades publicas
- $A_{R(9,2)}$  Entidades privadas
- $A_{R(9,3)}$  Movimiento de redes
- $A_{R(9,4)}$  Permisos ambientales
- $A_{R(9,5)}$  Permisos de tránsito
- $A_{R(9,6)}$  Registro y catastro

#### 2.2.5.9.1 $A_{R(9,1)}$ Entidades publicas

Evento  $\psi \left( A_{R(9,1)} \right)$  : Dificultad de permisos o trámites en entidades publicas.

$$p \left( \psi \left( A_{R(9,1)} \right) \right) \approx 0.7$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(9,1)} \right) \in [0.1, 0.4] \Rightarrow I_C \left( A_{R(9,1)} \right) \approx 0.25$$

$$I_T \left( A_{R(9,1)} \right) \in [0.2, 1.0] \Rightarrow I_T \left( A_{R(9,1)} \right) \approx 0.60$$

#### 2.2.5.9.2 $A_{R(9,2)}$ Entidades privadas

Evento  $\psi \left( A_{R(9,2)} \right)$  : Dificultad de permisos o trámites en entidades privadas

$$p \left( \psi \left( A_{R(9,2)} \right) \right) \approx 0.02$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(9,2)} \right) \in [0.01, 0.09] \Rightarrow I_C \left( A_{R(9,2)} \right) \approx 0.05$$

$$I_T \left( A_{R(9,2)} \right) \in [0.03, 0.07] \Rightarrow I_T \left( A_{R(9,2)} \right) \approx 0.05$$

#### 2.2.5.9.3 $A_{R(9,3)}$ Movimiento de redes

Evento  $\psi \left( A_{R(9,3)} \right)$  : Necesidad de movimiento de redes.

$$p \left( \psi \left( A_{R(9,3)} \right) \right) \approx 0.02$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(9,3)} \right) \in [0.05, 0.15] \Rightarrow I_C \left( A_{R(9,3)} \right) \approx 0.1$$

$$I_T \left( A_{R(9,3)} \right) \in [0.2, 0.4] \Rightarrow I_T \left( A_{R(9,3)} \right) \approx 0.3$$

#### 2.2.5.9.4 $A_{R(9,4)}$ Permisos ambientales

Evento  $\psi \left( A_{R(9,4)} \right)$  : Dificultad de permisos ambientales.

$$p \left( \psi \left( A_{R(9,4)} \right) \right) \approx 0.15$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(9,4)} \right) \in [0.02, 0.18] \Rightarrow I_C \left( A_{R(9,4)} \right) \approx 0.1$$

$$I_T \left( A_{R(9,4)} \right) \in [0.15, 0.25] \Rightarrow I_T \left( A_{R(9,4)} \right) \approx 0.2$$

#### 2.2.5.9.5 $A_{R(9,5)}$ Permisos de tránsito

Evento  $\psi \left( A_{R(9,5)} \right)$  : Dificultad de permisos de tránsito o movilidad.

$$p \left( \psi \left( A_{R(9,5)} \right) \right) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(9,5)} \right) \in [0.00, 0.01] \Rightarrow I_C \left( A_{R(9,5)} \right) \approx 0.005$$

$$I_T \left( A_{R(9,5)} \right) \in [0.05, 0.15] \Rightarrow I_T \left( A_{R(9,5)} \right) \approx 0.1$$

#### 2.2.5.9.6 $A_{R(9,6)}$ Registro y catastro

Evento  $\psi \left( A_{R(9,6)} \right)$  : Dificultad de trámites en registro y catastro.

$$p \left( \psi \left( A_{R(9,6)} \right) \right) \approx 0.03$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{R(9,6)} \right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_C \left( A_{R(9,6)} \right) = 0.0$$

$$I_T \left( A_{R(9,6)} \right) \in [0.05, 0.25] \Rightarrow I_T \left( A_{R(9,6)} \right) \approx 0.15$$

#### 2.2.5.10 $\epsilon(A_R) \in \mathbb{P}$ Otros eventos de riesgo no observados

Error  $\epsilon(A_R)$  Eventos normativos no observados.

Impacto en costo y tiempo del error

$$\epsilon_C(A_R) \in [0.00, 0.01] \Rightarrow \epsilon_C(A_R) \approx 0.005$$

$$\epsilon_T(A_R) \in [0.00, 0.01] \Rightarrow \epsilon_T(A_R) \approx 0.005$$

### 2.2.6 $A_F$ Matemática y datos del Análisis Financiero

El análisis financiero  $A_F$  posee diez actividades con eventos normativos que impactan el costo o el tiempo que están agrupadas en tres categorías.

- Categoría de Ingresos
  - $A_{F_1}$  Capital Inicial
  - $A_{F_2}$  Generación de Recursos
  
- Categoría de Egresos
  - $A_{F_3}$  Compra o negociación del lote
  - $A_{F_4}$  Costos Directos de Construcción
  - $A_{F_5}$  Costos Indirectos de Construcción
  - $A_{F_6}$  Gastos de Operación
  
- Categoría de Flujo de Caja
  - $A_{F_7}$  Procedimientos Financieros
  - $A_{F_8}$  Ventas menores a la estimación
  - $A_{F_9}$  Intereses de Préstamos y Créditos

### Ingresos

Las siguientes actividades se encuentran dentro de la categoría de **Ingresos**.

#### 2.2.6.1 $A_{F_1}$ Capital inicial

Evento  $\psi(A_{F_1})$  : Capital inicial no obtenido o incumplido.

$$p(\psi(A_{F_1})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F_1}) \in [0.01, 0.02] \Rightarrow I_C(A_{F_1}) = 0.015$$

$$I_T(A_{F_1}) \in [0.10, 0.50] \Rightarrow I_T(A_{F_1}) \approx 0.30$$

#### 2.2.6.2 $A_{F_2}$ Generación de recursos

La actividad  $A_{F_2}$  : Generación de recursos, posee cuatro subactividades con eventos que inciden en costo o tiempo. *Esta actividad se refiere a los recursos obtenidos por la operación comercial y de gerencia.*

- $A_{F_{(2,1)}}$  Aportes
- $A_{F_{(5,2)}}$  Ventas
- $A_{F_{(2,3)}}$  Renta
- $A_{F_{(2,4)}}$  Inventario

### 2.2.6.2.1 $A_{F(2,1)}$ Aportes

Evento  $\psi(A_{F(2,1)})$  : Retraso de Aportes o No Aportación.

$$p(\psi(A_{F(2,1)})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(2,1)}) \in [0.10, 0.20] \Rightarrow I_C(A_{F(2,1)}) = 0.15$$

$$I_T(A_{F(2,1)}) \in [0.20, 0.40] \Rightarrow I_T(A_{F(2,1)}) \approx 0.30$$

### 2.2.6.2.2 $A_{F(2,2)}$ Ventas

Evento  $\psi(A_{F(2,2)})$  : Ventas bajas.

*Si se da una dinámica de ventas positiva, los costos se podrían reducir, hasta un 15%, es decir  $I_C(A_{F(2,2)}) \in [-0.15, 0.15]$ . En nuestro caso al no calcular la utilidad solo consideramos el escenario en el que el costo es afectado, es decir que hayan ventas bajas.*

$$p(\psi(A_{F(2,2)})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(2,2)}) \in [0.00, 0.15] \Rightarrow I_C(A_{F(2,2)}) \approx 0.075$$

$$I_T(A_{F(2,2)}) \in [0.00, 0.40] \Rightarrow I_T(A_{F(2,2)}) \approx 0.20$$

### 2.2.6.2.3 $A_{F(2,3)}$ Renta

Evento  $\psi(A_{F(2,3)})$  : Renta difícil.

*Si se da una operación rentista positiva, los costos se podrían reducir, hasta un 10%, es decir  $I_C(A_{F(2,3)}) \in [-0.10, 0.15]$ . En nuestro caso al no calcular la utilidad solo consideramos el escenario en el que el costo es afectado, es decir que la renta sea difícil de lograr.*

$$p(\psi(A_{F(2,3)})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(2,3)}) \in [0.00, 0.20] \Rightarrow I_C(A_{F(2,3)}) \approx 0.10$$

$$I_T(A_{F(2,3)}) \in [0.00, 0.30] \Rightarrow I_T(A_{F(2,3)}) \approx 0.15$$

### 2.2.6.2.4 $A_{F(2,4)}$ Inventario

Evento  $\psi(A_{F(2,4)})$  : Entrega de inventario a socios devaluado al finalizar el proyecto.

$$p(\psi(A_{F(2,4)})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(2,4)}) \in [0.02, 0.05] \Rightarrow I_C(A_{F(2,4)}) \approx 0.035$$

$$I_T(A_{F_{(2,4)}}) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T(A_{F_{(2,4)}}) = 0.00$$

### Egresos

Las siguientes actividades se encuentran dentro de la categoría de **Egresos**.

#### 2.2.6.3 $A_{F_3}$ Compra o negociación del lote o terreno

Evento  $\psi(A_{F_3})$  : Compra a mal precio o mala negociación del lote o terreno.

*Este evento suele darse más en nuevas empresas del sector inmobiliario.*

$$p(\psi(A_{F_3})) \approx 0.005$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F_3}) \in [0.10, 0.30] \Rightarrow I_C(A_{F_3}) \approx 0.20$$

$$I_T(A_{F_3}) \in [0.20, 0.30] \Rightarrow I_T(A_{F_3}) = 0.25$$

#### 2.2.6.4 $A_{F_4}$ Costos directos de construcción

La actividad  $A_{F_4}$  : Costos directos de construcción, posee tres subactividades con eventos que inciden en costo o tiempo.

- $A_{F_{(4,1)}}$  Costos de Presupuestación
- $A_{F_{(4,2)}}$  Costos de Calidad
- $A_{F_{(4,3)}}$  Costos de Diseño

##### 2.2.6.4.1 $A_{F_{(4,1)}}$ Costos de Presupuestación

Evento  $\psi(A_{F_{(4,1)}})$  : Se presentan sobrecostos de presupuestación.

*Este evento suele darse más en nuevas empresas del sector inmobiliario.*

$$p(\psi(A_{F_{(4,1)}})) \approx 0.005$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F_{(4,1)}}) \in [0.10, 0.30] \Rightarrow I_C(A_{F_{(4,1)}}) \approx 0.20$$

$$I_T(A_{F_{(4,1)}}) \in [0.20, 0.30] \Rightarrow I_T(A_{F_{(4,1)}}) = 0.25$$

##### 2.2.6.4.2 $A_{F_{(4,2)}}$ Costos de Calidad

Evento  $\psi(A_{F_{(4,2)}})$  : Se presentan sobrecostos de calidad.

*Este evento suele darse más en nuevas empresas del sector inmobiliario.*

$$p(\psi(A_{F_{(4,2)}})) \approx 0.005$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F(4,2)} \right) \in [0.07, 0.13] \Rightarrow I_C \left( A_{F(4,2)} \right) \approx 0.10$$

$$I_T \left( A_{F(4,2)} \right) \in [0.00, 0.10] \Rightarrow I_T \left( A_{F(4,2)} \right) = 0.05$$

#### 2.2.6.4.3 $A_{F(4,3)}$ Costos de Diseño

Evento  $\psi \left( A_{F(4,3)} \right)$  : Se presentan sobrecostos de diseño.

*Este evento suele darse más en nuevas empresas del sector inmobiliario.*

$$p \left( \psi \left( A_{F(4,3)} \right) \right) \approx 0.005$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F(4,3)} \right) \in [0.04, 0.08] \Rightarrow I_C \left( A_{F(4,3)} \right) \approx 0.06$$

$$I_T \left( A_{F(4,3)} \right) \in [0.00, 0.08] \Rightarrow I_T \left( A_{F(4,3)} \right) = 0.04$$

#### 2.2.6.5 $A_{F_5}$ Costos indirectos de construcción

La actividad  $A_{F_5}$  : Costos indirectos de construcción, posee cinco subactividades con eventos que inciden en costo o tiempo.

- $A_{F(5,1)}$  Honorarios profesionales
- $A_{F(5,2)}$  Costos administrativos y comerciales
- $A_{F(5,3)}$  Costos financieros y bancarios
- $A_{F(5,4)}$  Impuestos, tributación y escrituración
- $A_{F(5,5)}$  Pagos de operación

##### 2.2.6.5.1 $A_{F(5,1)}$ Honorarios profesionales

Evento  $\psi \left( A_{F(5,1)} \right)$  : Valor de honorarios profesionales excedidos.

$$p \left( \psi \left( A_{F(5,1)} \right) \right) \approx 0.005$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F(5,1)} \right) \in [0.002, 0.004] \Rightarrow I_C \left( A_{F(5,1)} \right) \approx 0.003$$

$$I_T \left( A_{F(5,1)} \right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T \left( A_{F(5,1)} \right) = 0.0$$

##### 2.2.6.5.2 $A_{F(5,2)}$ Costos administrativos y comerciales

Evento  $\psi \left( A_{F(5,2)} \right)$  : Costos administrativos y comerciales excedidos.

$$p \left( \psi \left( A_{F(5,2)} \right) \right) \approx 0.005$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F(5,2)} \right) \in [0.02, 0.12] \Rightarrow I_C \left( A_{F(5,2)} \right) \approx 0.07$$

$$I_T \left( A_{F(5,2)} \right) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T \left( A_{F(5,2)} \right) = 0.0$$

### 2.2.6.5.3 $A_{F(5,3)}$ Costos financieros y bancarios

Evento  $\psi(A_{F(5,3)})$  : Costos financieros y bancarios excedidos.

$$p(\psi(A_{F(5,3)})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(5,3)}) \in [0.03, 0.09] \Rightarrow I_C(A_{F(5,3)}) \approx 0.06$$

$$I_T(A_{F(5,3)}) \in [0.0, 0.0] \Rightarrow I_T(A_{F(5,3)}) = 0.0$$

### 2.2.6.5.4 $A_{F(5,4)}$ Impuestos, tributación y escrituración

Evento  $\psi(A_{F(5,4)})$  : Sobrecosto por retraso en impuestos, tributación y escrituración.

$$p(\psi(A_{F(5,4)})) \approx 0.1$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(5,4)}) \in [0.005, 0.015] \Rightarrow I_C(A_{F(5,4)}) \approx 0.01$$

$$I_T(A_{F(5,4)}) \in [0.00, 0.20] \Rightarrow I_T(A_{F(5,4)}) \approx 0.1$$

### 2.2.6.5.5 $A_{F(5,5)}$ Costos de operación

Evento  $\psi(A_{F(5,5)})$  : Excedente en pagos de gerencia, fiducia, constructora, interventoría, comercializadora.

$$p(\psi(A_{F(5,5)})) \approx 0.02$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(5,5)}) \in [0.01, 0.02] \Rightarrow I_C(A_{F(5,5)}) \approx 0.015$$

$$I_T(A_{F(5,5)}) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T(A_{F(5,5)}) = 0.0$$

### 2.2.6.6 $A_{F_6}$ Gastos de operación

La actividad  $A_{F_6}$  : Gastos de operación posee dos subactividades con eventos

- $A_{F(6,1)}$  Gastos de Venta
- $A_{F(6,2)}$  Gastos Financieros

#### 2.2.6.6.1 $A_{F(6,1)}$ Gastos de Venta

Evento  $\psi(A_{F(6,1)})$  : Gastos por comisiones, publicidad y otros excesivos.

$$p(\psi(A_{F(6,1)})) \approx 0.05$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(6,1)}) \in [0.01, 0.02] \Rightarrow I_C(A_{F(6,1)}) \approx 0.015$$

$$I_T(A_{F(6,1)}) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T(A_{F(6,1)}) = 0.00$$

### 2.2.6.6.2 $A_{F(6,2)}$ Gastos Financieros

Evento  $\psi(A_{F(6,2)})$  : Gastos por intereses de mora, interés de deuda y otros.

$$p(\psi(A_{F(6,2)})) \approx 0.02$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C(A_{F(6,2)}) \in [0.01, 0.014] \Rightarrow I_C(A_{F(6,2)}) \approx 0.012$$

$$I_T(A_{F(6,2)}) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T(A_{F(6,2)}) = 0.00$$

### Flujo de Caja

Las siguientes actividades se encuentran dentro de la categoría de **Flujo de Caja**. *Esta categoría contiene ingresos y egresos, con la diferencia de que se calculan periódicamente.*

### 2.2.6.6.7 $A_{F_7}$ Procedimientos financieros

La actividad  $A_{F_7}$  : Procedimientos financieros, posee tres subactividades con eventos

- $A_{F(7,1)}$  Honorarios profesionales
- $A_{F(7,2)}$  Costos administrativos y comerciales
- $A_{F(7,3)}$  Costos financieros y bancarios

#### 2.2.6.7.1 $A_{F(7,1)}$ NVP

Evento  $\psi(F_{F(7,1)})$  : NPV negativo.

No se encuentran eventos en esta actividad ya que es una calculo matemático preciso *Este evento aunque no impacta puede disminuir la perspectiva de inversión o generar desinterés total.*

Impacto en costo y tiempo del evento

$$p(\psi(A_{F(7,1)})) \approx 0.01$$

$$I_C(A_{F(7,1)}) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_C(A_{F(7,1)}) = 0.00$$

$$I_T(A_{F(7,1)}) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T(A_{F(7,1)}) = 0.00$$

#### 2.2.6.7.2 $A_{F(7,2)}$ ROI

Evento  $\psi(A_{F(6,1)})$  : ROI no promisorio.

*Este evento aunque no impacta puede disminuir la perspectiva de inversión o generar desinterés total.*

$$p(\psi(A_{F(7,2)})) \approx 0.01$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F(7,2)} \right) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_C \left( A_{F(7,2)} \right) = 0.00$$

$$I_T \left( A_{F(7,2)} \right) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T \left( A_{F(7,2)} \right) = 0.00$$

### 2.2.6.7.3 $A_{F(7,3)}$ WACC

Evento  $\psi \left( A_{F(7,3)} \right)$  : WACC no favorable.

*Este evento aunque no impacta puede disminuir la perspectiva de inversión o generar desinterés total.*

$$p \left( \psi \left( A_{F(7,3)} \right) \right) \approx 0.01$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F(7,3)} \right) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_C \left( A_{F(7,3)} \right) = 0.00$$

$$I_T \left( A_{F(7,3)} \right) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T \left( A_{F(7,3)} \right) = 0.00$$

### 2.2.6.8 $A_{F_8}$ Ventas menores a la estimación

Evento  $\psi \left( A_{C_8} \right)$  : Comportamiento deficiente de ventas en el ciclo de vida del proyecto.

*No se puede pronosticar la demanda. Tendrá un impacto de tiempo mínimo del 20% que eventualmente se puede mejorar si las ventas son exitosas.*

$$p \left( \psi \left( A_{F_8} \right) \right) \approx 0.20$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F_8} \right) \in [0.02, 0.18] \Rightarrow I_C \left( A_{F_8} \right) \approx 0.10$$

$$I_T \left( A_{F_8} \right) \in [0.00, 0.40] \Rightarrow I_T \left( A_{F_8} \right) \approx 0.20$$

### 2.2.6.9 $A_{F_9}$ Intereses de préstamos y créditos

Evento  $\psi \left( A_{F_9} \right)$  : Gastos por intereses de mora, interés de deuda y otros.

$$p \left( \psi \left( A_{F_9} \right) \right) \approx 0.01$$

Impacto en costo y tiempo del evento

$$I_C \left( A_{F_9} \right) \in [0.001, 0.009] \Rightarrow I_C \left( A_{F_9} \right) \approx 0.005$$

$$I_T \left( A_{F_9} \right) \in [0.00, 0.00] \Rightarrow I_T \left( A_{F_9} \right) = 0.00$$

### 2.2.6.10 $\epsilon(A_F) \in \mathbb{P}$ Otros eventos financieros no observados

Error  $\epsilon \left( A_F \right)$  Eventos financieros no observados.

Impacto en costo y tiempo del error

$$\epsilon_C \left( A_F \right) \in [0.01, 0.03] \Rightarrow \epsilon_C \left( A_F \right) \approx 0.02$$

$$\epsilon_T \left( A_F \right) \in [0.02, 0.04] \Rightarrow \epsilon_T \left( A_F \right) \approx 0.03$$

## Capítulo **3**

### Modelación

---

**E**studiaremos los componentes y definiciones en elección discreta que se usarán en la simulación de la prefactibilidad.

#### 3.1 Teoría

##### Elección Discreta

Esta teoría está basada en las definiciones expuestas en [13], analizamos datos donde la variable dependiente toma valores discretos:

- Variables dependientes binarias
- Variables discretas no ordenadas
- Variables discretas ordenadas
- Datos de conteo con variables discretas ordenadas multivaluadas

##### 3.1.0.1 Variables Binarias

Una variable binaria toma dos valores

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{de probabilidad } p \\ 0 & \text{de probabilidad } 1 - p \end{cases}$$

En donde 1 indica que un individuo a optado por tomar una acción.

##### 3.1.0.2 Distribución de Bernoulli

$$f(y) = P(Y = y) = p^y(1 - p)^{1-y}$$

$$E(y) = P(Y = 1) = p$$

$$\text{Var}(Y) = p(1 - p)$$

Para nuestro caso estamos interesados en la toma de decisiones, usando una distribución condicional que valide si el individuo toma una acción  $Y_i = 1$ , ya que toda la factibilidad se basa en decisiones humanas.

La probabilidad de  $Y = 1$  condicional en  $X$  es la esperanza condicional dado  $X$ .

$$E(Y | X = x) = \Pr(Y = 1 | X = x) = p(x)$$

con  $p(x)$  función.

Tenemos entonces una esperanza condicional de una variable aleatoria que según [14] la esperanza condicional permite calcular probabilidades y expectativas cuando hay alguna información parcial disponible; por lo tanto, las probabilidades y expectativas deseadas son condicionales. Además al calcular una probabilidad o expectativa deseada, es útil tener alguna variable aleatoria apropiada.

El Modelo Lineal de Probabilidad simplemente supone que la esperanza condicional de la variable binaria  $Y$  es lineal por tanto

$$E(Y | X = x) = \Pr(Y = 1 | X = x) = p(x) + \beta_0 + \beta_1 x$$

**Definición 3.28** [*Heterocedasticidad*]

*Según [15] un modelo heterocedástico es aquel en que las varianzas de las perturbaciones no son constantes, por lo tanto, la variabilidad es diferente para cada observación, donde la matriz de varianzas-covarianzas es diagonal y por consiguiente, se sigue verificando independencia entre las observaciones aunque éstas no provienen de la misma población.*

Así tenemos para  $\text{Var}(Y | X = x)$  el siguiente resultado.

$$\text{Var}(Y | X = x) = p(x)[1 - p(x)] = (\beta_0 + \beta_1 x)(1 - \beta_0 - \beta_1 x)$$

Tiene que garantizarse que los valores de  $Y(X = x) \in [0, 1]$

Una elección natural es una función de distribución acumulada  $F(*)$  que solo depende de una variable.

Podemos garantizar que los valores estén comprendidos entre 0 y 1 o utilizar una función índice  $H(x) = h(x_1, \dots, x_i)$  con valores fuera de estos límites y luego aplicar  $F(*)$  a cada índice para restringir a ese intervalo es decir  $F(H(x))$ .

La forma simple es un índice lineal  $H(x) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k$

Este modelo es un modelo de índice lineal

$$E(Y | X = x) = P(Y = 1 | X = x) = F(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k)$$

Para definir  $F(*)$  se estudiarán dos opciones conocidas

- Función de distribución acumulada de la normal estandarizada

$$\Omega(x) = \int_{-\infty}^x \phi(x) dx = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) dx$$

con  $\Omega(x)$  función de densidad de la normal estandarizada.

- Función de distribución acumulada logística  $\Gamma(z) = \frac{e^z}{1 + e^z}$

Para la función de distribución acumulada usamos el modelo **Probit**

$$E(Y | X = X) = P(Y = 1 | X = x) = \Omega(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i)$$

El modelo de índice lineal para esta función se llama **Logit**

$$E(Y | X = X) = P(Y = 1 | X = x) = \Gamma(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i)$$

Como en nuestro caso consideremos un individuo o empresa que se plantea hacer una inversión, su decisión se basará en la utilidad que obtiene con la inversión (con la mejor alternativa posible).

La utilidad del individuo de invertir  $V_{i1}$ , depende de las características del proyecto, algunas son observables  $X$  y otras no  $\epsilon$ .

Expresaremos la utilidad como un índice de los factores que inciden en el proyecto

$$V_{i1} = \rho_0 + \rho_1 X_{1i}^1 + \dots + \rho_k X_{ki}^1 + \epsilon_{i1}$$

Supongamos que la decisión de invertir se da por la existencia de otros proyectos de mejores características

$$V_{i0} = \gamma_0 + \gamma_1 X_{1i}^0 + \dots + \gamma_k X_{ki}^0 + \epsilon_{i0}$$

Luego se hará la inversión si  $V_{i1} > V_{i0}$

**Definición 3.29** [Variable latente] La variable latente  $Y_i^*$  es la diferencia de utilidades no observadas

$$Y_i^* = V_{i1} - V_{i0}$$

Observando la decisión que resulta de comparar ambas utilidades tenemos

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si invierte } Y_i^* = V_{i1} - V_{i0} > 0 \\ 0 & \text{si no invierte } Y_i^* = V_{i1} - V_{i0} < 0 \end{cases}$$

La variable latente  $Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i$  donde  $X$  son diferencias en características de las dos opciones

Donde la esperanza condicional está dada por

$$E(Y_i | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Pr(Y_i = 1 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) \quad (3.1)$$

$$= \Pr(Y_i^* > 0 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) \quad (3.2)$$

$$= \Pr(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i > 0 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) \quad (3.3)$$

donde el error  $u_i$  es estocástico

$$E(Y_i | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Pr(u_i > -\beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki} | X_{1i}, \dots, X_{ki})$$

Suponiendo que distribución del error que sigue una distribución acumulada  $F(z) = \Pr(U < z)$  cumple la propiedad de simetría  $1 - F(-z) = F(z)$  lo cual es lo típico, luego

$$\Pr(u_i > -\beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}) = 1 - \Pr(u_i < -\beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}) \quad (3.4)$$

$$= 1 - F(-\beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki}) \quad (3.5)$$

$$= F(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki}) \quad (3.6)$$

Si  $u_i$  sigue una distribución normal, se utiliza un modelo probit para  $Y_i$

$$E(Y_i | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Pr(Y_i = 1 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Omega(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki})$$

Si  $u_i$  sigue una distribución logística, se utiliza un modelo logit para  $Y_i$

$$E(Y_i | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Pr(Y_i = 1 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Gamma(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki})$$

### 3.1.0.3 Estimación por Máxima Verosimilitud

**Definición 3.30** [Verosimilitud] *Dada un muestra observada, se elige como valor estimado aquél que maximiza la probabilidad (verosimilitud) de que precisamente esa muestra hubiera sido la observada.*

El método de máxima verosimilitud tiene dos pasos:

- Calcular la probabilidad de cada muestra como función de los parámetros del modelo. Dada una muestra observada finalmente, la probabilidad de observar esa muestra varía sólo como función de los parámetros.
- Estimar el parámetro como el valor que hace máxima la probabilidad de observar una muestra concreta

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } y_i^* \geq 0 \\ 0 & \text{si } y_i^* < 0 \end{cases}$$

La variable latente dependerá de una explicativa

$$y_i^* = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \epsilon_i$$

$$\epsilon_i \sim N(0, 1)$$

Para estimar  $\beta_0, \beta_1$  en el modelo probit usamos la función de verosimilitud esto es, calcular la probabilidad de los parámetros en función de la muestra que observamos.

Sea un individuo  $i$  con valores observados  $X_{1i} = x_{1i}$  La probabilidad de que la variable dependiente para  $i$  tome valor 1 es:

$$\Pr(Y_i = 1 \mid X_{1i} = x_{1i}) = \Pr(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \epsilon_i > 0) \tag{3.7}$$

$$= \Pr(\epsilon_i > -\beta_0 - \beta_1 x_1) \tag{3.8}$$

$$= 1 - \Pr(\epsilon_i < -\beta_0 - \beta_1 x_1) \tag{3.9}$$

$$= 1 - \Omega(-\beta_0 - \beta_1 x_1) \tag{3.10}$$

$$= \Omega(\beta_0 + \beta_1 x_1) \tag{3.11}$$

Donde la probabilidad de tomar el valor de 0 es

$$\Pr(Y_i = 0 \mid X_{1i} = x_{1i}) = 1 - \Omega(\beta_0 + \beta_1 x_1)$$

luego la probabilidad de observar cada valor  $y_i = \{0, 1\}$  para el individuo  $i$  es

$$\Pr(Y_i = y_i \mid x_{i1}, \beta_0, \beta_1) = [\Omega(\beta_0 + \beta_1 x_{i1})]^{y_i} [1 - \Omega(\beta_0 + \beta_1 x_{i1})]^{1-y_i}$$

Si tenemos una muestra aleatoria, la probabilidad conjunta de observar a los  $N$  individuos de la muestra será

$$\Pr(Y_1 = y_1, \dots, Y_N = y_N) = \prod_{i=1}^N \Pr(Y_i = y_i \mid x_{i1}, \beta_0, \beta_1) \quad (3.12)$$

$$= L(\beta_0, \beta_1; y_1, \dots, y_n) \quad (3.13)$$

$$= \prod_{i=1}^N [\Omega(\beta_0 + \beta_1 x_{i1})]^{y_i} [1 - \Omega(\beta_0 + \beta_1 x_{i1})]^{1-y_i} \quad (3.14)$$

La probabilidad conjunta  $L(\beta_0, \beta_1; y_1, \dots, y_n)$  como función de los parámetros se denomina función de verosimilitud “para cada valor de los parámetros, informa sobre cómo de verosímil (probable) resulta que se haya generado la muestra que observamos  $(y_1, \dots, y_n)$ .”

En general, resulta más conveniente trabajar con la función de log-verosimilitud

$$\log L(\beta_0, \beta_1; y_1, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^N [y_i \log \Omega(\beta_0 + \beta_1 x_{i1})] + (1 - y_i) \log(1 - \Omega(\beta_0 + \beta_1 x_{i1}))$$

Nuestra estimación de los parámetros será aquella que haga máxima esta función. La función de verosimilitud depende del supuesto distribucional del término de error

$$\epsilon_i \mid X_i \sim N(0, 1)$$

Si suponemos otra distribución (logística, por ejemplo) para el término de error, entonces el mecanismo del método de máxima verosimilitud es el mismo. La probabilidad conjunta calculada sería diferente, por tanto, diferentes supuestos distribucionales implican distintas funciones de verosimilitud, asimismo, los estimadores pueden ser diferentes dependiendo del supuesto distribucional donde el máximo de la función de log-verosimilitud puede ser distinto. Los estimadores y sus propiedades dependen crucialmente de qué distribución se haya supuesto para el término de error que es inobservable, por tanto no podemos conocer su distribución. Si la distribución que suponemos resulta ser la verdadera, el estimador máximo verosímil será:

- Consistente: Cuando el tamaño muestral es grande, el valor estimado está próximo al verdadero valor de parámetro.

- Eficiente (asintóticamente): La varianza del estimador es la menor posible

Si la distribución que suponemos no resulta ser la verdadera, no se puede garantizar esas buenas propiedades.

En algunos casos, el estimador máximo verosímil es consistente incluso si el supuesto distribucional no es cierto. se habla de estimación por pseudo máxima verosimilitud.

### 3.1.1 Inferencia

#### 3.1.1.1 Bondad de ajuste

A mayor log-verosimilitud, mejor será el modelo obtenido, donde sólo puede compararse entre modelos de la misma clase, usando el pseudo-R2 de McFadden.

$$\hat{R}^2 = 1 - \frac{L_N(\hat{\beta})}{L_N(\bar{y})}$$

Que es una medida de la mejora relativa en la log-verosimilitud del modelo que incluye variables explicativas,  $L_N(\hat{\beta})$  respecto al modelo sólo con constante,  $L_N(\bar{y})$  (probabilidad media incondicional) teniendo en cuenta que esta medida está en  $[0, 1]$ , pero no representa proporción de varianza explicada por el modelo.

La bondad de ajuste puede medirse como capacidad para predecir adecuadamente los datos observados.

Las probabilidad predichas serán valores entre  $[0, 1]$ , pero los datos observados son exactamente 0 o 1.

Podemos ejecutar el siguiente proceso:

- Comparación de probabilidades predichas con frecuencias muestrales: Se divide la muestra en  $g$  subgrupos y calculamos la diferencia entre las probabilidad media predicha y la observada en cada subgrupo.
- Convertir la predicción en valores binarios y calcular el porcentaje de observaciones correctamente clasificadas: El resultado predicho de un individuo será 1 si su probabilidad predicha supera un cierto umbral (p.e., 0.5 o la media de la variable dependiente).

Luego la medida de bondad de ajuste es el porcentaje de resultados predichos que coinciden con los observados.

Además existen una par test comunes para la verosimilitud:

- Test de Wald Que estima el modelo bajo la hipótesis alternativa (modelo sin restringir) y comprueba si las estimaciones satisfacen las restricciones: poca distancia a lo especificado por el modelo restringido  $H_0$ .

Los test de Wald tienen una distribución asintótica conocida bajo  $H_0$ .

Cuando la probabilidad de observar valores muy alejados es pequeña de acuerdo con la distribución normal, se rechaza  $H_0$

- Test del Ratio de Verosimilitudes Se estiman el modelo no restringido  $H_a$  y el restringido  $H_0$  el modelo restringido siempre tendrá menor verosimilitud (por imponer restricciones).

Una gran diferencia en las verosimilitudes es poco probable bajo  $H_0$ .

El estadístico de contraste es

$$LR = -2 [\ln L(\hat{\theta}_r) - \ln L(\hat{\theta}_u)] \sim \chi^2_{(q)} \text{ bajo } H_0$$

Ambos tests son asintóticamente equivalentes: Se obtendrán resultados similares (rechazo o no de  $H_0$ , p-valor, etc.)

### 3.1.1.2 Modelos estadísticos

Los modelos binarios se pueden generalizar como:

- Modelos univariantes multinomiales: Una variable dependiente con múltiples categorías mutuamente excluyentes donde las categorías pueden ser ordenadas o no y las variables explicativas pueden ser específicas de cada alternativa.
- Modelos multivariantes para variables discretas: Útil para varias categorías no mutuamente exclusivas.

### 3.1.1.3 Modelos multinomiales

El valor de la variable dependiente  $Y_i$  para el individuo  $i$  es una de  $m$  alternativas

$$Y_i = r, r = 1, 2, \dots, m$$

Donde los valores son arbitrarios excepto si el modelo es ordenado, tenemos la probabilidad de un alternativa  $r$  para un individuo  $i$ , condicional en las variables explicativas  $X_i$  con  $p_{ir} = \Pr(Y_i = r | X_i) = Fr(X_i; \theta)$  Donde  $Fr(*)$  depende del modelo multinomial que se especifique.

El efecto marginal de la variable explicativa  $j$  sobre la probabilidad de la alternativa  $r$  para el individuo  $i$  es

$$em^{irj} = \frac{\partial \Pr(Y_i = r | X_i)}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial Fr(X_i; \theta)}{\partial x_{ij}}$$

Para un individuo  $i$  se tiene que

$$\Pr(Y_i = r | X_i) = p_{i1}^{y_{i1}} \times \dots \times p_{im}^{y_{im}} = \prod_{s=1}^m p_{is}^{y_{is}}$$

Donde

$$y_{ir} = \begin{cases} 1 & \text{si } Y_i = r \\ 0 & \text{si } Y_i \neq r \end{cases}$$

La función de verosimilitud en una muestra aleatoria de individuos es

$$\Pr(Y_1 = y_1, \dots, Y_N = y_N) = \prod_{i=1}^N \Pr(Y_i = r | X_i) = \prod_{i=1}^N \prod_{s=1}^m p_{is}^{y_{is}}$$

Luego

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^N \prod_{s=1}^m [F_s(X_i; \theta)]^{y_{is}}$$

#### 3.1.1.4 Modelos aditivos de utilidad aleatoria

Algunos modelos pueden interpretarse como resultado de maximización de utilidad. La utilidad de la alternativa  $r$  para el individuo  $i$  resulta de la suma de

- Componente determinístico  $V_{ir}$
- Componente determinístico  $\epsilon_{ir}$

Se observa que el individuo  $i$  elige la alternativa  $r$ ,  $Y_i = r$ , si obtiene la mayor utilidad entre alternativas

$$\Pr(Y_i = r) = \Pr(U_{ir} \geq U_{is}), \quad \forall s \tag{3.15}$$

$$= \Pr(U_{ir} - U_{is} \geq 0), \quad \forall s \tag{3.16}$$

$$= \Pr(e_{is} - e_{ir} \geq V_{ir} - V_{is}), \quad \forall s \tag{3.17}$$

Un modelo multinomial concreto especifica típicamente:  $V_{ir} = x'_{ir}\beta + z'_i\gamma_r$  donde los regresores  $x_{ir}$  son variables específicas para cada alternativa, los regresores  $z_i$  son variables invariantes a la alternativa, con impacto potencial diferente en cada alternativa

### 3.1.1.4.1 Modelo Logit Multinomial

- Todas las variables explicativas son invariantes a la alternativa.
- Los errores siguen una distribución conjunta logística; por tanto

$$p_{ir} = \frac{\exp(X_i' \beta_r)}{\sum_{s=1}^m \exp(X_i' \beta_s)}, r = 1, 2, \dots, m$$

- El vector  $\beta_s$  se fija a 0 en una categoría base.
- Los coeficientes se interpretan con respecto a la categoría base.
- Puede interpretarse como una serie de modelos Logit para pares de alternativas

$$\Pr(Y_i = r | Y_i = r \vee Y_i = 1) = \frac{\Pr(Y_i = r)}{\Pr(Y_i = r) + \Pr(Y_i = 1)} = \frac{\exp(X_i' \beta_r)}{1 + \exp(X_i' \beta_r)}$$

con  $s = 1$  categoría base.

- Se definen los ratios de riesgo relativos “ood-ratios”  $\frac{\Pr(Y_i = r)}{\Pr(Y_i = 1)} = \exp(X_i' \beta_r)$
- $\exp(\beta_{rj})$  es el cambio relativo en la probabilidad de la alternativa  $j$  frente a la alternativa 1 cuando  $x_{irj}$  aumenta en una unidad.

### 3.1.1.4.2 Modelo Logit Condicional

- Es una extensión del modelo Logit Multinomial que permite regresores específicos para cada alternativa

$$p_{ir} = \frac{\exp(x_{ir}' \beta + z_i' \gamma_r)}{\sum_{s=1}^m \exp(x_{ir}' \beta + z_i' \gamma_r)}$$

- Los coeficientes de los regresores específicos de cada alternativa son:

$$\frac{\partial \Pr(Y_i = r | X_i)}{\partial x_{ij}} = \begin{cases} p_{ir}(1 - p_{ir})\beta_j, r = s \\ -p_{ir}p_{is}\beta_j, r \neq s \end{cases}$$

Si  $\beta_j > 0$  un incremento de una variable en una alternativa supone mayor probabilidad de elegir esa categoría y menor de elegir el resto.

### 3.1.1.4.3 Modelo Logit Nested “Anidado”

- Los modelos logit multinomial/condicional imponen una restricción: la elección entre pares de alternativas es un modelo logit binario, este supuesto, conocido como de independencia de alternativas irrelevantes y puede ser muy restrictivo. Es decir, suponen que los errores de cada alternativa  $\epsilon_{ir}$  son independientes e idénticamente distribuidos como valor extremo.
- El modelo Logit Anidado requiere una estructura anidada donde las alternativas se reparten en grupos y los errores  $\epsilon_{ir}$  están correlacionados dentro del grupo, pero incorrelacionados fuera del grupo, es por esto que lo usamos para la prefactibilidad inmobiliaria.
- El modelo Logit Anidado se puede derivar un problema de maximización de utilidad suponiendo que los errores siguen una distribución multivariante (de valor extremo de Gumbel).
- El modelo Logit Anidado se puede definir para múltiples niveles aunque típicamente se tienen dos.
- Las probabilidades del modelo Logit Anidado son similares a las del Logit Condicional aunque con una estructura anidada específica.
- La interpretación de coeficientes y efectos marginales es igual a la discutida antes según se tengan regresores específicos de cada alternativa o no, pero si se tienen regresores no específicos a la alternativa, debe haber una categoría base con su vector de parámetros igual a cero.

### 3.1.1.4.4 Probit Multinomial

Permite debilitar el supuesto de independencia de alternativas irrelevantes y permite un patrón de correlaciones en los errores muy flexible, además no es necesario definir una estructura anidada.

Dado un modelo de utilidad aleatoria, donde la utilidad de la alternativa  $r$  es

$$U_{ir} = x'_{ir}\beta + z'_i\gamma_r + \epsilon_{ir}$$

Se supone que los errores siguen una distribución conjunta normal  $\epsilon \sim \mathcal{N}(0, \Sigma)$  donde  $\epsilon = (\epsilon_{i1}, \epsilon_{i2}, \dots, \epsilon_{im})$  la probabilidad de elegir la alternativa  $r$  es

$$p_{ir} = \Pr(Y_i = r) = \Pr\left(\epsilon_{is} - \epsilon_{ir} \leq (\mathbf{x}_{ir} - \mathbf{x}_{is})' \boldsymbol{\beta} + \mathbf{z}_i'(\gamma_r - \gamma_s)\right)$$

Lo que implica una integral de dimensión  $m - 1$  difícil de computar, la estimación del modelo necesita imponer restricciones sobre  $\Sigma$  y obtener las probabilidades integrando numéricamente o utilizar el método de máxima verosimilitud simulada. En este modelo la interpretación de probabilidades predichas y de efectos marginales es similar a lo discutido anteriormente.

### 3.2 Modelo de Prefactibilidad Inmobiliaria

Basados en el hecho de la estructura nested presente en la jerarquía y los elementos expuestos en [16] tenemos para el Costo  $C$  y Tiempo  $T$  un modelo de Logit que denominamos modelo de regresión logística de pre-factibilidad inmobiliaria.

El modelo para el costo

$$P_C = \beta_0 + \sum_{\substack{i=1 \\ j=\Lambda}}^{|\mathcal{A}_X|} \beta_i I_C(\mathcal{A}_X) + \mathcal{E}_{P_C}, \text{ con } \Lambda := \{J, T, C, N, R, F\} \quad (3.18)$$

Los  $\beta_i$  de  $I_C(\mathcal{A}_X)$  se generan recursivamente a través de los  $\beta_j$  de  $I_C(\mathcal{A}_{X_i})$  que a su vez se generan de los  $\beta_k$  de  $I_C(\mathcal{A}_{X_i})$ , con  $\mathcal{E}_{P_C}$  es el error no controlable.

Para cada análisis  $\mathcal{A}_X$  se incluye el error no observable de costo  $\epsilon_C(\mathcal{A}_X)$ .

Es decir, para cada  $\mathcal{A}_X$  tenemos

$$I_C(\mathcal{A}_X) = \beta_0 + \sum_{\substack{i=1 \\ j=\Lambda}}^{|\mathcal{A}_X|} \beta_i I_C(\mathcal{A}_{X_i}) + \epsilon_C(\mathcal{A}_X) \quad (3.19)$$

De forma análoga el modelo para el tiempo será

$$P_T = \beta_0 + \sum_{\substack{i=1 \\ j=\Lambda}}^{|\mathcal{A}_X|} \beta_i I_T(\mathcal{A}_X) + \mathcal{E}_{P_T}, \text{ con } \Lambda := \{J, T, C, N, R, F\} \quad (3.20)$$

Los  $\beta_i$  de  $I_T(\mathcal{A}_X)$  se generan recursivamente a través de los  $\beta_j$  de  $I_T(\mathcal{A}_{X_i})$  que a su vez se generan de los  $\beta_k$  de  $I_T(\mathcal{A}_{X_i})$ , además  $\mathcal{E}_{P_T}$  es el error no controlable.

Para cada análisis  $\mathcal{A}_X$  se incluye el error no observable de Tiempo  $\epsilon_T(\mathcal{A}_X)$ .

Es decir, para cada  $A_X$  tenemos

$$I_T(A_X) = \beta_0 + \sum_{\substack{i=1 \\ j=\lambda}}^{|A_X|} \beta_i I_T(A_{X_i}) + \epsilon_T(A_X) \quad (3.21)$$

Cada modelo puede dar como resultado en la futura simulación o bien un valor  $p \in P$  o bien intervalos en  $\{x \in p \mid p_1 \leq x \leq p_2\}$  con  $p_1, p_2 \in P$ .

En el caso de un valor se representa el excedente porcentual sobre Costo o Tiempo estimados del proyecto sin eventos.

En el caso de un intervalo se representa un rango de exceso porcentual sobre Costo o Tiempo estimados del proyecto sin eventos.

### 3.2.1 Regresión Logística

Los siguientes elementos calculados a través de la simulación de este modelo  $Z = P_C$  ó  $P_T$  utilizan una implementación de .NET framework llamada Accord la cual se ha adaptado y están documentados en [17].

- Probabilidad de elección logit o función sigmoide logística

$$g(Z) = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (3.22)$$

- Modelo de regresión logística  $Z$ : Donde  $\beta_0$  es el valor de intercepción con el eje  $y$ ,  $I_C(A_X)$ ,  $I_T(A_X)$  es el vector de observación para  $n$  variables (simulaciones),  $P_C$ ,  $P_T$  en el contexto de la regresión logística llamado logit. Luego, el logit se aplica como entrada para la función sigmoide logística no lineal  $g(z)$ , dando como resultado una probabilidad.

En un problema binomial en el que estamos tratando de determinar si una observación pertenece a la clase  $C_1$  o la clase  $C_2$ , el modelo logístico nos dice que:  $p(C_1|x) = g(c^t x + i)$ ,  $p(C_2|x) = 1 - p(C_1|x)$

Donde  $p(C_1|x)$  denota la probabilidad de que  $C_1$  sea verdadero cuando  $x$  es verdadero. Es decir, denota la probabilidad de que  $x$  pertenezca a la clase  $C_1$ .

- Coeficientes  $\beta_i$ : Los coeficientes para la regresión logística son valores que multiplican cada variable observada desde un vector de entradas. Usamos un sistema optimizado de redes neuronales ya que con otros métodos los tiempos son excesivos.

- Razón de probabilidades (Odds Ratio): Después del cálculo del modelo de regresión logística, cada coeficiente tendrá una medida asociada llamada odds ratio. La razón de probabilidades es una medida del tamaño del efecto, que describe la fuerza de asociación o no independencia entre dos valores de datos binarios y se puede aproximar elevando el valor del coeficiente al número de Euler.

$$\text{Odds-Ratio}_c = e^c \quad (3.23)$$

- Error estándar: El error estándar para los coeficientes se puede obtener de la matriz Hessiana inversa calculada durante la fase de ajuste del modelo y se puede utilizar para dar intervalos de confianza para la razón de probabilidades. El error estándar para el coeficiente  $i$ -ésimo de la regresión se puede obtener como:

$$S\epsilon_i = \sqrt{\text{diag}(H_i^{-1})} \quad (3.24)$$

- Intervalo de confianza  $I_c$ : El intervalo de confianza alrededor del coeficiente de regresión logística es más o menos  $1.96 \times S\epsilon_i$ , donde  $S\epsilon_i$  es el error estándar para el coeficiente  $i$  denotado  $c_i$ . Entonces podemos definir:

$$95\% I_c = \langle \text{inf}, \text{sup} \rangle = \langle c_i - 1.96 \times S\epsilon_i, c_i + 1.96 \times S\epsilon_i \rangle \quad (3.25)$$

- Estadístico de Wald y Test de Wald: El estadístico de Wald es la relación del coeficiente logístico a su error estándar. Una prueba de Wald se usa para probar la significancia estadística de cada coeficiente  $c$  en el modelo. Una prueba de Wald calcula un estadístico  $Z$ , que es:

$$z = \frac{c_i}{S\epsilon_i} \quad (3.26)$$

El valor  $z$  puede ser cuadrado, produciendo un estadístico de Wald con una distribución chi-cuadrada, o puede tomarse tal cual y compararse directamente con una distribución Normal. La prueba de Wald genera un  $p$ -valor que indica la importancia de las variables independientes individuales. Si el valor está por debajo de un umbral de significancia elegido (típicamente 0.05) entonces la variable desempeña un papel en la determinación del resultado indicando que solo es azar. Sin embargo, la prueba de razón de verosimilitud es una mejor alternativa para la prueba de Wald.

## Capítulo 4

# Algoritmos

---

Definimos los siguientes algoritmos con base a las funciones y el modelo obtenido. Este controlador esta conectado a una base de datos [18] MSSQLDC (Microsoft SQL DataCenter 2016) y un servidor [19] IIS (Internet Information Server). El módulo programado en Visual Studio Enterprise se llama RISKUE y está implementado en el framework ASP.NET MVC (Modelo, Vista, Controlador).

### 4.1 Explicación general del código fuente

La explicación general del código [20] ASP.NET MVC que es una mezcla de C#, CSHTML y SQL se ordena igual que en los bloques de la interfaz del programa.

#### 4.1.1 Esquema general

ASP.NET MVC es un framework (Conjunto de clases y librerías para interoperar con diferentes lenguajes de manera más intuitiva) que trabaja en tres fases [20, p103] Modelo, [20, p41] Vista y [20, p3] Controlador.

##### 4.1.1.1 Modelo

Los modelos que en programación se conoce como la lógica de negocio, son clases contenedoras de los atributos de los objetos del proyecto, por ejemplo un auto tendría un modelo.

```
public class Auto
{
    public int Id { get; set; }
    public string Marca { get; set; }
    public string Color { get; set; }
    public string Modelo { get; set; }
    ... etc
}
```

Los modelos se programan en C#.

### 4.1.1.2 Controlador

Todos los controladores preprocesan sus datos a través de los modelos y generan todas las operaciones y cálculos necesarios que son enviados a la vista en forma de objetos para que esta muestre datos al usuario. Los controladores están compuestos por métodos, funciones, variables, entre otros y pueden tener entradas o no y devolver resultados como listas o no devolver nada si son de tipo void. Los controladores representan la parte algorítmica del ASP.NET MVC, y es allí donde se desarrollan todos los cálculos, a través de operaciones de variables, invocación de métodos, uso de funciones, retorno de artefactos además de inserción de librerías, queries a bases de datos, etc. En los controladores es donde está la mayoría de código de las aplicaciones de este tipo. Una de las principales acciones en ASP.NET MVC de los controladores es devolver las vistas, es decir información visible al usuario representadas en páginas WEB, cada controlador puede manejar tantas vistas como se requiera y va mostrando al usuario una a la vez. Los controladores se programan en C#. En el módulo riskue todos los modelos son basados en el framework Entity Model, que pasa los datos directamente a la base de datos y los recibe igual sin hacer Queries (Expresiones de consulta a Bases de Datos) hasta el controlador para que este pueda incorporarlos en la vista.

```
public class ProcesamientoAutos
{
    public class CambioColorAuto(string ColorAuto, iAuto)
    {
        if (iAuto.Color == ColorAuto) { iAuto.Color = "Black" }
    }
}
```

El módulo RISKUE toma los datos de las siguientes tablas donde el nombre de la tabla será el método y los nombres de columna los campos que envía y devuelve hacia el controlador y posteriormente a la vista.

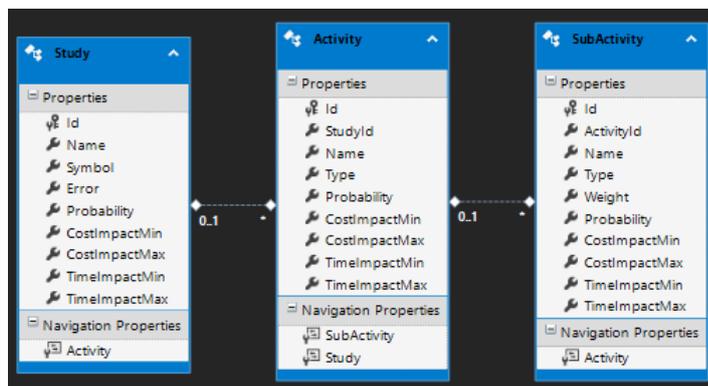


Figura. 4.1: Algunas tablas de la base de datos RISKUE Imagen tomada del servidor principal.

### 4.1.1.3 Vista

Es lo que el usuario ve en la pantalla y su código está hecho en HTML y C# a tal combinación se le conoce como Razor y por eso sus archivos tienen extensión .cshtml. Para que la vista aparezca debe haber sido devuelta por un controlador.

Como nota los controladores y modelos se conocen como backend y las vistas como frontend. Este tipo de estructura necesita un servidor WEB que en este caso es IIS10 (Internet Information Server) para que todo funcione a través de páginas WEB y un proveedor de bases de datos, en este caso MSQDC (Microsoft SQL DataCenter 2016) en el que se hacen todas las operaciones CRUD para recibir resultados que son mostrados en vistas.

Cada controlador maneja múltiples vistas que son mostradas al usuario que verá una a la vez.

```
@model PROGRAM.Diagrams.Auto
```

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    <title>Cambio Color</title>
  </head>
  <body>
    <div>
      <h3>El color del auto @Auto.Nombre es ahora @Auto.Color</h3>
    </div>
  </body>
</html>
```

Las vistas se programan en Razor (HTML + C#) y suelen tener CSS (para dar estilo) y JS (para operaciones entre elementos HTML).

### 4.1.2 Explicación de código por áreas

Las áreas son bloques de elementos asociables en nuestro caso se corresponden con la interfaz de usuario para mayor intuición. No necesariamente todas las áreas presentan varios elementos, pero se estructuran así ya que es normal en el desarrollo de software que estos aparezcan después.

#### 4.1.2.1 Área de Proyectos

Esta Área maneja las vistas relacionadas a proyectos posee el controlador ProjectController.

```
public class ProcesamientoAutos
{
  public class CambioColorAuto(string ColorAuto, iAuto)
  {
    if (iAuto.Color == ColorAuto) { iAuto.Color = "Black" }
  }
}
```

### 4.1.2.2 ProjectController

Almacena y permite hacer el CRUD sobre la base de datos (Crear, leer, actualizar y borrar) la información de los proyectos los cuales son objetos con atributos específicos de la fase de pre-factibilidad. Los demás controladores que tienen una estructuración CRUD tienen una programación y estructuras similares a este por eso su código se omite.

```

public class ProjectController : Controller
{
    private RiskueEntities db = new RiskueEntities();
    public ActionResult Index()
    {
        return View(db.Project.ToList());
    }
    public ActionResult Details(int? id)
    {
        if (id == null){ return new HttpStatusCodeResult(HttpStatusCode.BadRequest); }
        Project project = db.Project.Find(id);
        if (project == null) { return HttpNotFound(); }
        return View(project);
    }
    public ActionResult Create()
    {
        return View();
    }
    [HttpPost]
    [ValidateAntiForgeryToken]
    public ActionResult Create([Bind(Include = "Id,Code,Name,Type,Location")] Project project
    )
    {
        if (ModelState.IsValid) { db.Project.Add(project); db.SaveChanges(); return
            RedirectToAction("Index"); }
        return View(project);
    }
    public ActionResult Edit(int? id)
    {
        if (id == null) { return new HttpStatusCodeResult(HttpStatusCode.BadRequest); }
        Project project = db.Project.Find(id);
        if (project == null) { return HttpNotFound(); }
        return View(project);
    }
    [HttpPost]
    [ValidateAntiForgeryToken]
    public ActionResult Edit([Bind(Include = "Id,Code,Name,Type,Location")] Project project)
    {
        if (ModelState.IsValid)
        {
            db.Entry(project).State = EntityState.Modified;
            db.SaveChanges();
            return RedirectToAction("Index");
        }
        return View(project);
    }
    public ActionResult Delete(int? id)
    {
        if (id == null)
        {
            return new HttpStatusCodeResult(HttpStatusCode.BadRequest);
        }
        Project project = db.Project.Find(id);
        if (project == null)

```

```

        {
            return HttpNotFound();
        }
        return View(project);
    }

    [HttpPost, ActionName("Delete")]
    [ValidateAntiForgeryToken]
    public ActionResult DeleteConfirmed(int id)
    {
        Project project = db.Project.Find(id);
        db.Project.Remove(project);
        db.SaveChanges();
        return RedirectToAction("Index");
    }

    protected override void Dispose(bool disposing)
    {
        if (disposing) { db.Dispose(); } base.Dispose(disposing);
    }
}

```

Los modelos para este Controlador sería el siguiente en el que se definen los tipos de datos y el acceso al objeto Project, este método cual se muestra como referencia de lo que son los otros modelos, los cuales solo varían en el tipo de datos de cada objeto,

```

public partial class Project
{
    public Project()
    {
        this.ProjectSimulation = new HashSet<ProjectSimulation>();
    }

    public int Id { get; set; }
    public string Code { get; set; }
    public string Name { get; set; }
    public string Type { get; set; }
    public string Location { get; set; }

    public virtual ICollection<ProjectSimulation> ProjectSimulation { get; set; }
}

```

Los datos son enviados y recibidos hacia y desde la base de datos a través de estos métodos, todos los modelos del módulo RISKUE poseen esta misma estructura.

Parte de la Vista Index de este controlador será entonces

```

@model IEnumerable<RISKUE.Diagrams.Project>
@using RISKUE.Diagrams;

@{
    ViewBag.Title = "Index";
}

@{
    ViewBag.Title = "Index";
    Layout = "~/Views/Shared/_Layout.cshtml";

    RiskueEntities db = new RiskueEntities();
}

<div class="am-mainpanel">
    <div class="am-pagetitle">

```

```

<h5 class="am-title">Proyectos</h5>
<form id="searchBar" class="search-bar" action="index.html">
  <div class="form-control-wrapper">
    <input type="search" class="form-control bd-0" placeholder="Search...">
  </div><!-- form-control-wrapper -->
  <button id="searchBtn" class="btn btn-orange"><i class="fa fa-search"></i></button>
</form><!-- search-bar -->
</div><!-- am-pagetitle -->

<div class="am-pagebody">

  <p>
    @Html.ActionLink(" Create New", "Create")
  </p>
  <table class="table">
    <tr>
      <th>
        @Html.DisplayNameFor(model => model.Code)
      </th>
      <th>
        @Html.DisplayNameFor(model => model.Name)
      </th>
      <th>
        @Html.DisplayNameFor(model => model.Type)
      </th>
      <th>
        @Html.DisplayNameFor(model => model.Location)
      </th>
      <th></th>
    </tr>

    @foreach (var item in Model)
    {
      <tr>
        <td>
          @Html.DisplayFor(modelItem => item.Code)
        </td>
        <td>
          @Html.DisplayFor(modelItem => item.Name)
        </td>
        <td>
          @Html.DisplayFor(modelItem => item.Type)
        </td>
        <td>
          @Html.DisplayFor(modelItem => item.Location)
        </td>
        <td>
          @Html.ActionLink(" Edit", "Edit", new { id = item.Id }) |
          @Html.ActionLink(" Details", "Details", new { id = item.Id }) |
          @Html.ActionLink(" Delete", "Delete", new { id = item.Id })
        </td>
      </tr>
    }

  </table>
</div>
</div>
}

```

En el código anterior la vista interactúa con el modelo Entity para regresar la lista de proyecto en una vista. La mayoría de vistas del módulo RISKUE tienen esta estructura. Este controlador maneja las vistas Index, Create, Edit, Deatils, Delete para operaciones CRUD y son las que tendrán la mayoría de controladores, además que estas cumplen con

el estándar de Entity Framework para las operaciones mencionadas. La vista de mayor interés para nuestro proyecto es la de Index ya que podemos agregar información relevante al usuario y cálculos importantes.

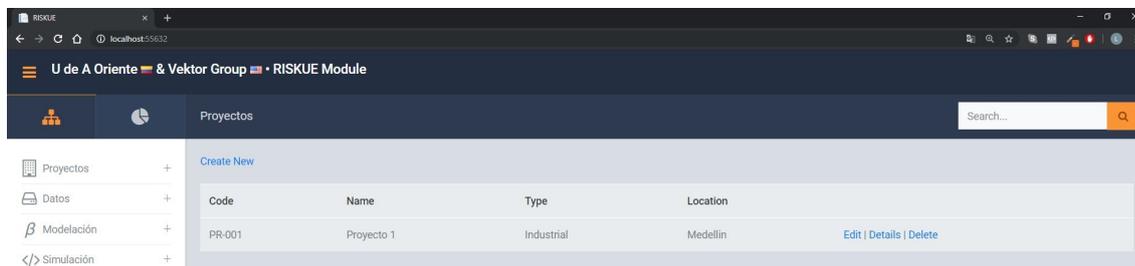


Figura. 4.2: Vista Index de ProjectController Imagen tomada del modulo RISKUE en Debug (Pruebas).

### 4.1.3 Area de Datos

Esta Area posee los controladores StudyController, ActivityController, SubActivityController. Cada uno de ellos con sus respectivas vistas.

#### 4.1.3.1 StudyController

Maneja el CRUD (Operación de bases de datos, indica C: Crear, R: Leer, U: Actualizar, D: Borrar) de los Análisis  $A_X$  con la configuración correspondiente a los estudiados, es extensible a los análisis que cualquier organización considere necesarios para la pre-factibilidad. Este controlador utilizar el modelo Study que contiene los campos evidenciados en la DB. Además maneja las vistas Index, Create, Edit, Deatails, Delete que en la vista Index lista los estudios, además muestra las notaciones, intervalos y valores contenidos en el capítulo de Matemática. Este tipo de operabilidad y visualización de datos será igual en las vistas Index del área de datos.

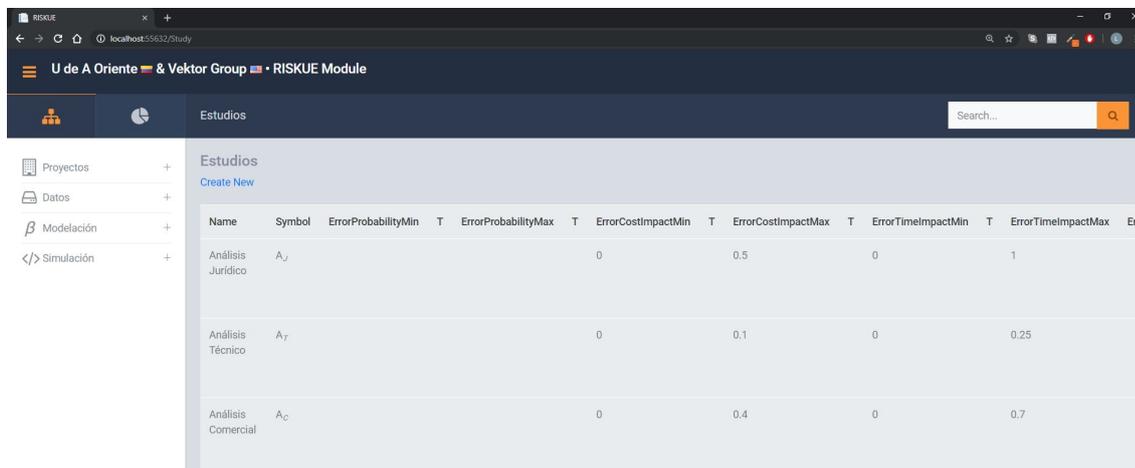


Figura. 4.3: Vista Index de StudyController Imagen tomada del modulo RISKUE en Debug (Pruebas).

### 4.1.3.2 ActivityController

Maneja el CRUD de Variables asociadas  $i$  a los Análisis  $A_X$  es decir las  $A_{X_i}$  con la configuración correspondiente a las estudiadas, es igualmente extensible a las variables que cualquier organización estime para su pre-factibilidad.

Este controlador maneja las vistas Index, Create, Edit, Details, Delete aprovechando la jerarquía en la base de datos renderiza lo elementos superiores en la vista Index.



Figura. 4.4: Algunos elementos Vista Activity de AcitivityController Imagen tomada del modulo RISKUE.

### 4.1.3.3 SubActivityController

Maneja el CRUD de Elementos  $j$  de Variables en los Análisis  $A_X$  es decir las  $A_{X_{(i,j)}}$  con la configuración correspondiente a las estudiadas, es igualmente extensible a las variables que cualquier organización estime para su pre-factibilidad.

Este controlador maneja las vistas Index, Create, Edit, Details, Delete. Al igual que Activity aprovechando la jerarquía en la base de datos renderiza lo elementos superiores en la vista Index.

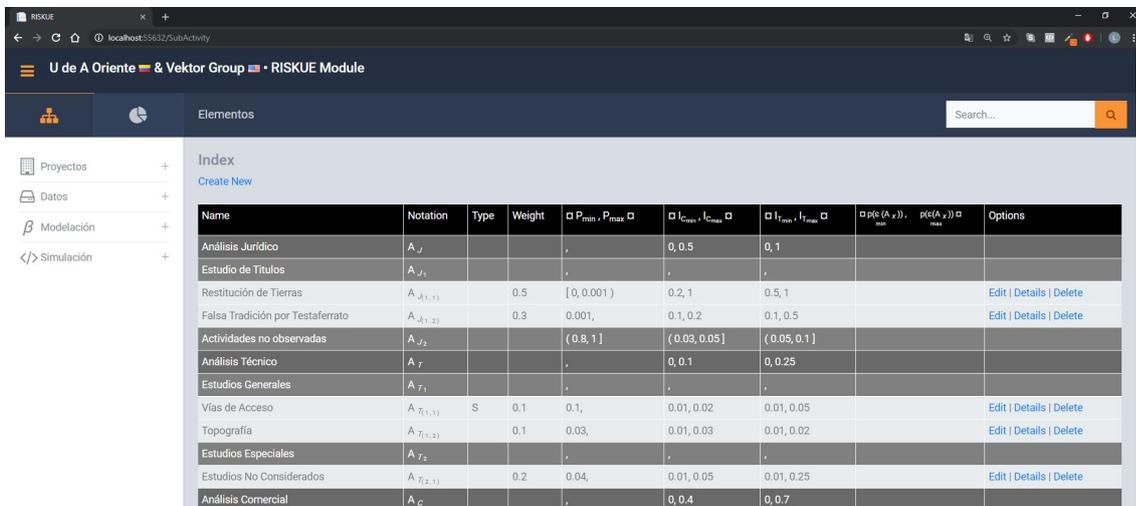


Figura. 4.5: Vista Index de ProjectController Imagen tomada del modulo RISKUE en Debug (Pruebas).

#### 4.1.4 Area de Modelación

Esta Área posee solo un controlador ModelController que no tiene que ver con el significado de modelo de ASP.NET MVC sino que se refiere explícitamente al modelo matemático definido para la simulación, de hecho este controlador no posee modelo alguno.

##### 4.1.4.1 ModelController

Este controlador hace una composición de fuentes tipográficas y de una forma organizada muestra al usuario la representación matemática creada a partir de la información generada en el área de datos de manera dinámicas decir que todo CRUD de esa área genera un cambio en en la vista Index que es la única que maneja.



Figura. 4.6: Vista Index de ModelController Imagen tomada del modulo RISKUE en Debug (Pruebas).

#### 4.1.5 Area de Simulación

Esta Área posee los controladores MathController y SimulationController.

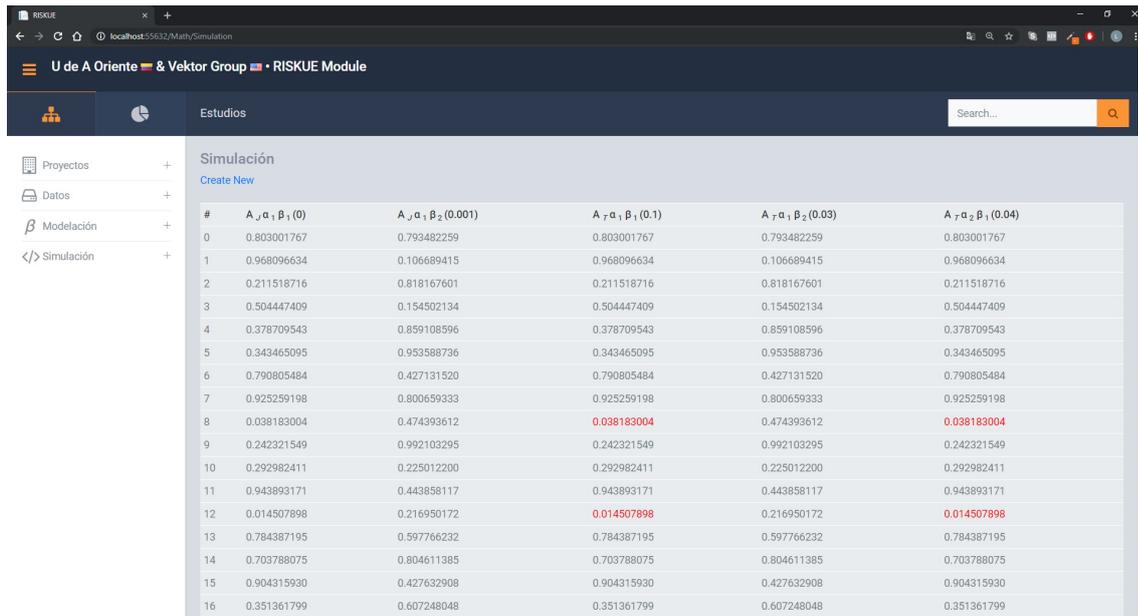
##### 4.1.5.1 MathController

Controla los cálculos matemáticos de la simulación devolviendo los valores de los análisis, variables, elementos y errores para incorporarlos al modelo, el cual evalúa finalmente entregando el resultado de l prefatbilidad esperada para una simulacion en especifico.

##### 4.1.5.2 SimulationController

Se pueden generar  $n \in \mathbb{N}$  iteraciones asignándolas en las variables globales. Se ejecuta en un servidor, el equipo local solo sirve de cliente de visualización debido al alto costo de procesamiento, si la cantidad de datos es muy alta, por ejemplo, 100000 simulaciones seejecuta en servicios en la nube de computación paralela por ejemplo Paralleel Jobs de Azure Dev Ops. Posee una vista Index que devuelve al usuario la información obtenida al simular el modelo definido.

## 4.1 Explicación general del código fuente



The screenshot shows the RISKUE application interface. The browser address bar indicates the URL is localhost:55632/MatlySimulation. The application header includes the logo and name 'U de A Oriente & Vektor Group - RISKUE Module'. The main content area is titled 'Simulación' and contains a table with 17 rows of simulation data. The table has six columns: '#', 'A, α<sub>1</sub>, β<sub>1</sub> (0)', 'A, α<sub>1</sub>, β<sub>2</sub> (0.001)', 'A, α<sub>1</sub>, β<sub>1</sub> (0.1)', 'A, α<sub>1</sub>, β<sub>2</sub> (0.03)', and 'A, α<sub>2</sub>, β<sub>1</sub> (0.04)'. The values in the table are numerical, with some values in rows 8, 12, and 16 highlighted in red.

#	A, α <sub>1</sub> , β <sub>1</sub> (0)	A, α <sub>1</sub> , β <sub>2</sub> (0.001)	A, α <sub>1</sub> , β <sub>1</sub> (0.1)	A, α <sub>1</sub> , β <sub>2</sub> (0.03)	A, α <sub>2</sub> , β <sub>1</sub> (0.04)
0	0.803001767	0.793482259	0.803001767	0.793482259	0.803001767
1	0.968096634	0.106689415	0.968096634	0.106689415	0.968096634
2	0.211518716	0.818167601	0.211518716	0.818167601	0.211518716
3	0.504447409	0.154502134	0.504447409	0.154502134	0.504447409
4	0.378709543	0.859108596	0.378709543	0.859108596	0.378709543
5	0.343465095	0.953588736	0.343465095	0.953588736	0.343465095
6	0.790805484	0.427131520	0.790805484	0.427131520	0.790805484
7	0.925259198	0.800659333	0.925259198	0.800659333	0.925259198
8	0.038183004	0.474393612	0.038183004	0.474393612	0.038183004
9	0.242321549	0.992103295	0.242321549	0.992103295	0.242321549
10	0.292982411	0.225012200	0.292982411	0.225012200	0.292982411
11	0.943893171	0.443858117	0.943893171	0.443858117	0.943893171
12	0.014507898	0.216950172	0.014507898	0.216950172	0.014507898
13	0.784387195	0.597766232	0.784387195	0.597766232	0.784387195
14	0.703788075	0.804611385	0.703788075	0.804611385	0.703788075
15	0.904315930	0.427632908	0.904315930	0.427632908	0.904315930
16	0.351361799	0.607248048	0.351361799	0.607248048	0.351361799

Figura. 4.7: Vista Index de *SimulationController* Imagen tomada del modulo *RISKUE* en *Debug* (Pruebas).

## Capítulo 5

### Simulación

---

Cada modelo da como resultado en la simulación o un valor  $p \in P$  y un intervalo en  $\{x \in p \mid p_1 \leq x \leq p_2\}$  con  $p_1, p_2 \in P$ , que representa el excedente porcentual sobre Costo o Tiempo estimados del proyecto sin eventos y el intervalo representa el rango de exceso porcentual sobre Costo o Tiempo estimados del proyecto sin eventos.

A partir de este resultado se entrega una recomendación al usuario que se basa en el siguiente hecho de la industria inmobiliaria.

Así es posible hallar los  $\beta_1, \beta_2$  del modelo de Costo y Tiempo, además los elementos inherentes a la regresión logística.

La regresión lineal es creada a partir de una red neuronal que permite un rápido procesamiento del alto flujo de datos ya que se pueden elegir tantas iteraciones como el usuario desee.

Los pasos para generar la simulación a partir de un software creado específicamente para ello son los siguientes

- Se ingresa en la base de datos los datos generales de análisis, actividades y subactividades,
- En las subactividades se especifican los datos dependiendo el conjunto en el cuál deben ser válidos.
- Se crea un proyecto para simular y se procede a simular.
- La plataforma va creando el modelo a medida que se agrega la información.

Las siguiente imágenes evidencian parte de este proceso.

Name	Symbol	$\epsilon_c(A_x)$	$\epsilon_f(A_x)$	
Análisis Jurídico	$A_J$	[0, 0.002]	[0, 0.005]	Edit   Details   Delete
Análisis Técnico	$A_T$	[0, 0.001]	[0, 0.02]	Edit   Details   Delete
Análisis Comercial	$A_C$	[0, 0.002]	[0, 0.02]	Edit   Details   Delete
Análisis Normativo	$A_N$	[0, 0.001]	[0, 0.01]	Edit   Details   Delete
Análisis de Riesgos	$A_R$	[0, 0.01]	[0, 0.03]	Edit   Details   Delete
Análisis Financiero	$A_F$	[0, 0.005]	[0, 0.05]	Edit   Details   Delete

Figura. 5.1: Análisis RISKUE Imagen tomada de la plataforma.

Name	Actions
<b>A<sub>J</sub>: Análisis Jurídico</b>	
A <sub>J1</sub> : Estudio de Títulos	Edit   Details   Delete
<b>A<sub>T</sub>: Análisis Técnico</b>	
A <sub>T1</sub> : Vías de Acceso	Edit   Details   Delete
A <sub>T2</sub> : Topografía	Edit   Details   Delete
A <sub>T3</sub> : Fuentes de agua	Edit   Details   Delete
A <sub>T4</sub> : Torres de energía	Edit   Details   Delete
A <sub>T5</sub> : Acostamiento	Edit   Details   Delete
A <sub>T6</sub> : Altura de las unidades	Edit   Details   Delete
A <sub>T7</sub> : Sistema constructivo	Edit   Details   Delete
A <sub>T8</sub> : Estudios especiales	Edit   Details   Delete
A <sub>T9</sub> : Servicios públicos	Edit   Details   Delete
<b>A<sub>C</sub>: Análisis Comercial</b>	
A <sub>C1</sub> : Crecimiento económico por región	Edit   Details   Delete
A <sub>C2</sub> : Ambiente político	Edit   Details   Delete
A <sub>C3</sub> : Ambiente legal	Edit   Details   Delete
A <sub>C4</sub> : Liberación	Edit   Details   Delete
A <sub>C5</sub> : Competencia	Edit   Details   Delete
<b>A<sub>N</sub>: Análisis Normativo</b>	

Figura. 5.2: Actividades RISKUE Imagen tomada de la plataforma.

Name	Sit	$r(W(A_{X(0)}))$	Operation	$\epsilon_c(A_{X(0)})$	$\epsilon_f(A_{X(0)})$	Options
<b>A<sub>J</sub>: Análisis Jurídico</b>						
A <sub>J1</sub> : Estudio de Títulos						
A <sub>J1.1</sub> : Restitución de Tierras	P	0.001	Directa	[0, 0.75] = 0.5	[0, 5.7] = 0.75	[?] [?] [?]
A <sub>J1.2</sub> : Falta Tradición por Testamento	P	0.001	Directa	[0, 5.7] = 0.75	[0, 5.7] = 0.75	[?] [?] [?]
<b>A<sub>T</sub>: Análisis Técnico</b>						
A <sub>T1</sub> : Vías de Acceso						
A <sub>T1.1</sub> : Obligaciones o afectaciones viales	P	0.025	Directa	[0, 0.01] = 0.005	[0, 5.2] = 0.1	[?] [?] [?]
A <sub>T1.2</sub> : Vías obligadas	P	0.2	Directa	[0, 0.05] = 0.005	[0, 0.01] = 0.005	[?] [?] [?]
A <sub>T1.3</sub> : Ampliación o verificación de vías	P	0.005	Directa	[0, 0.05, 0.06] = 0.05	[0, 0.05, 0.01] = 0.01	[?] [?] [?]
<b>A<sub>T2</sub>: Topografía</b>						
A <sub>T2.1</sub> : Topografía del predio	P?	No aplica 3 opciones.	Directa sobre la función por partes (P)			[?] [?] [?]
				Impacto en Costo x P.		
				Impacto en Tiempo x P.		

Figura. 5.3: Sub-Actividades RISKUE Imagen tomada de la plataforma.

**Cost Logit Model**

$$P_C = \beta_0 + \beta_1 A_J + \beta_2 A_T + \beta_3 A_C + \beta_4 A_N + \beta_5 A_R + \beta_6 A_F + \epsilon(P_C)$$

$$A_J = \{ \epsilon_c(A_J), \omega_1 \}$$

$$A_T = \{ \epsilon_c(A_T), \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9 \}$$

$$A_C = \{ \epsilon_c(A_C), \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4 \}$$

$$A_N = \{ \epsilon_c(A_N) \}$$

$$A_R = \{ \epsilon_c(A_R) \}$$

$$A_F = \{ \epsilon_c(A_F) \}$$

$$A_J = \omega_0 + \omega_1 \beta_1 + \omega_2 \beta_2 + \epsilon_c(A_J)$$

$$A_T = \omega_0 + \omega_1 \beta_1 + \omega_2 \beta_2 + \omega_3 \beta_3 + \omega_4 \beta_4 + \omega_5 \beta_5 + \omega_6 \beta_6 + \omega_7 \beta_7 + \omega_8 \beta_8 + \omega_9 \beta_9 + \epsilon_c(A_T)$$

$$A_C = \omega_0 + \omega_1 \beta_1 + \omega_2 \beta_2 + \omega_3 \beta_3 + \epsilon_c(A_C)$$

$$A_N = \omega_0 + \epsilon_c(A_N)$$

$$A_R = \omega_0 + \epsilon_c(A_R)$$

$$A_F = \omega_0 + \epsilon_c(A_F)$$

**Time Logit Model**

$$P_T = \beta_0 + \beta_1 A_J + \beta_2 A_T + \beta_3 A_C + \beta_4 A_N + \beta_5 A_R + \beta_6 A_F + \epsilon(P_T)$$

$$A_J = \{ \epsilon_c(A_J), \omega_1 \}$$

$$A_T = \{ \epsilon_c(A_T), \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9 \}$$

$$A_C = \{ \epsilon_c(A_C), \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5 \}$$

$$A_N = \{ \epsilon_c(A_N) \}$$

$$A_R = \{ \epsilon_c(A_R) \}$$

$$A_F = \{ \epsilon_c(A_F) \}$$

$$A_J = \omega_0 + \omega_1 \beta_1 + \omega_2 \beta_2 + \epsilon_c(A_J)$$

$$A_T = \omega_0 + \omega_1 \beta_1 + \omega_2 \beta_2 + \omega_3 \beta_3 + \omega_4 \beta_4 + \omega_5 \beta_5 + \omega_6 \beta_6 + \omega_7 \beta_7 + \omega_8 \beta_8 + \omega_9 \beta_9 + \epsilon_c(A_T)$$

$$A_C = \omega_0 + \omega_1 \beta_1 + \omega_2 \beta_2 + \omega_3 \beta_3 + \epsilon_c(A_C)$$

$$A_N = \omega_0 + \epsilon_c(A_N)$$

$$A_R = \omega_0 + \epsilon_c(A_R)$$

$$A_F = \omega_0 + \epsilon_c(A_F)$$

Figura. 5.4: Simulación Sub-Actividades RISKUE Imagen tomada de la plataforma.

# Capítulo 5. Simulación

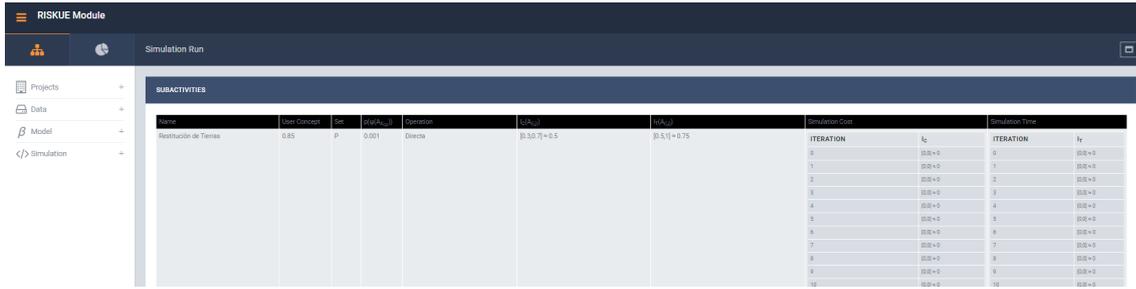


Figura. 5.5: Simulación Actividades RISKUE Imagen tomada de la plataforma.



Figura. 5.6: Simulación Sub-Actividades RISKUE Imagen tomada de la plataforma.



Figura. 5.7: Simulación Análisis RISKUE Imagen tomada de la plataforma.

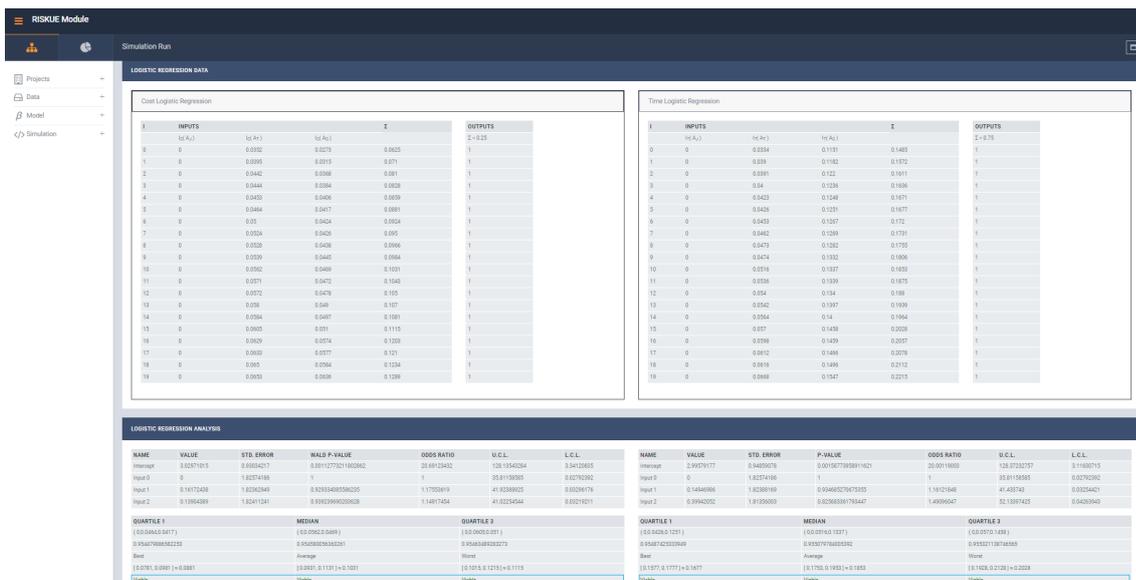


Figura. 5.8: Resultados regresión logística de los modelos RISKUE Imagen tomada de la plataforma.



## Capítulo **6**

### Conclusiones

---

Gracias a las bondades multidisciplinarias de la matemática, la estadística y la computación hemos podido atacar un problema clásico del sector inmobiliaria proyectos obteniendo las siguientes conclusiones.

- Las variables no observadas son componentes que afectan fuertemente el costo y el tiempo de un proyecto
- Es posible modelar el comportamiento futuro de un proyecto sin sofisticaciones a través de la incorporación de errores consecuentes por cada análisis.
- Los métodos tradicionales sugieren que muchas pérdidas se dan por la necesidad de ofrecer un panorama de éxito inexistente o inviable a los interesados sin un sustento estructurado.
- La situación política y económica inciden directamente en el negocio inmobiliario en Colombia.
- Se puede establecer a través de la modelación matemática una aproximación del comportamiento probable de un proyecto en términos de Costo y Tiempo.



## Referencias

---

- [1] A. Botero Mariaca y J. A. Bedoya Muñoz, “Factibilidad para la construcción de un lote o vivienda unifamiliar,” Tesis Ph.D., Universidad EAFIT., 2014.
- [2] G. L. Molina Gonzales, C. Mercado Salas, y E. Gutierrez Ternera, “Metodología para determinar la factibilidad de proyectos inmobiliarios en el municipio de Sabaneta para estratos 4 y 5,” Tesis Ph.D., Universidad de Medellín., 2012.
- [3] J. M. Ciampagna, “Apuntes sobre la geometría de la parcela,” 2014. [Online]. Disponible en: <https://elprofejose.com/2014/07/22/apuntes-sobre-la-geometria-de-la-parcela/>
- [4] ESRI, “Acerca de las proyecciones cartográficas,” 2016. [Online]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/about-map-projections.htm>
- [5] M. Pseudonimo, “Las proyecciones cartográficas,” 2012. [Online]. Disponible en: <http://detopografia.blogspot.com/2012/10/las-proyecciones-cartograficas.html>
- [6] J. M. Ciampagna, “Topología,” 2013. [Online]. Disponible en: <https://elprofejose.com/2013/03/21/topologia-y-sig-2/>
- [7] J. J. Corrales Grajales, Otoniel Augusto. Mesa Mazo, “Metodología para evaluar la factibilidad legal, comercial, técnica y financiera para desarrollar proyectos multifamiliares.” Tesis Ph.D., Universidad de Medellín., 2008.
- [8] C. L. Contador Alonso, “Análisis de riesgos para la planeación de proyectos de construcción de vivienda multifamiliar en el municipio de Santa Rosa de Cabal departamento de Risaralda.” Tesis Ph.D., Universidad militar Nueva Granada., 2014.
- [9] A. F. Santos Botero, “Formulación de un plan de negocio para inversiones inmobiliarias.” Tesis Ph.D., Universidad Militar Nueva Granada., 2015.

- 
- [10] J. P. Castilla, Guillermo. Rodriguez, “Análisis de las ventajas y desventajas de invertir en una franquicia frente a un portafolio de acciones en la ciudad de Puebla.” Tesis Ph.D., Universidad de las Américas Puebla., 2004.
- [11] D. Geltner, N. Miller, J. Clayton, y P. Eichholtz, *Commercial Real Estate Analysis and Investments*. Eagan, Minesota, Estados Unidos: South Western Educational, 2001.
- [12] B. Manganelli, *Real Estate Investing: Market Analysis, Valuation Techniques, and Risk Management*. Potenza, Italia: Springer, 2015.
- [13] P. Albarrán Pérez, “Modelos de Elección Discreta.” 2011, [Revisado: 02-Febrero-2020]. [Online]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/15809/3/Tema3p.pdf>
- [14] J. D. Zacarías Florez, “Esperanza condicional.” [Revisado: 05-Enero-2020]. [Online]. Disponible en: [https://www.fcfm.buap.mx/jzacarias/cursos/procesos/apuntes/apun2\\_pe.pdf](https://www.fcfm.buap.mx/jzacarias/cursos/procesos/apuntes/apun2_pe.pdf)
- [15] C. M. Fernandez-Jardón, “Heterocedasticidad.” [Revisado: 08-Enero-2020]. [Online]. Disponible en: <http://cjardon.webs.uvigo.es/Transparencias/Unidad7.pdf>
- [16] W. A. Alvarez, “Teoría de decisiones: Modelo logit.” 2019, universidad de Antioquia.
- [17] C. Souza, “Logistic Regression in C#,” 2010. [Online]. Disponible en: <http://crsouza.com/2010/02/10/logistic-regression-in-c/>
- [18] Microsoft, “SQL Server 2016,” 2016. [Online]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server-2016/>
- [19] Neudesic, “IIS: Internet Information Services,” 2020. [Online]. Disponible en: <https://www.iis.net/>
- [20] D. Esposito, *Programming Microsoft ASP.NET MVC*. Redmond, Washington, Estados Unidos: Microsoft Press, 2011.
- [21] M. Mooya, *Real Estate Valuation Theory - A Critical Appraisal*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.
- [22] A. R. Björnsdóttir, “Financial Feasibility Assessments.” Tesis Ph.D., University of Iceland., 2010.