

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y
TECNOLOGIA

DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO



***MODELO DE PROGRAMACIÓN VISUAL PARA EL DISEÑO LUMÍNICO
INTEROPERABLE EN TECNOLOGÍA BIM***

T E S I S

para obtener el grado de

DOCTOR EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO

Presenta

GUILLERMO ANTONIO SEPULVEDA GIL

Director de Tesis

DR. MARCOS EDUARDO GONZÁLEZ TREVIZO

Ensenada, Baja California Septiembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y DISEÑO

**DOCTORADO EN ARQUITECTURA,
URBANISMO Y DISEÑO**

**MODELO DE PROGRAMACIÓN VISUAL PARA EL DISEÑO LUMÍNICO
INTEROPERABLE EN TECNOLOGÍA *BIM***

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE DOCTOR EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
PRESENTA**

Guillermo Antonio Sepúlveda Gil | 00163577
Correo electrónico: guillermo.sepulveda@uabc.edu.mx
Identificador ORCID: 0000-0001-8527-5086
Código QR vinculado al repositorio virtual del MyDAUD

Director de tesis: Dr. Marcos Eduardo González Trevizo
Identificador ORCID: 0000-0002-7382-2641

Co-Director de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor
Identificador ORCID: 0000-0003-1669-7327

Revisor de tesis: Dr. Andrés Alberto García González
Identificador ORCID: 0000-0002-5154-9196.

Revisor de tesis: Dra. Karen Estrella Martínez Torres
Identificador ORCID: 0000-0002-6744-8622

Revisor de tesis: Dr. Julio Cesar Rincón Martínez
Identificador ORCID: 0000-0002-1946-3609

Ensenada, B.C. Septiembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

**DOCTORADO EN ARQUITECTURA,
URBANISMO Y DISEÑO**

**MODELO DE PROGRAMACIÓN VISUAL PARA EL DISEÑO
LUMÍNICO INTEROPERABLE EN TECNOLOGÍA *BIM***

TESIS

Que para obtener el grado de Doctor en Arquitectura, Urbanismo y Diseño presenta:

Guillermo Antonio Sepulveda Gil

Aprobada por:



Dr. Marcos Eduardo González
Trevizo
Director de tesis



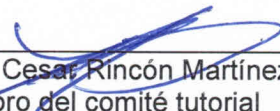
Dr. Francisco Fernández Melchor
Co-director de tesis



Dr. Andrés Alberto García González
Miembro del comité tutorial



Dra. Karen Estrella Martínez Torres
Miembro del comité tutorial



Dr. Julio Cesar Rincón Martínez
Miembro del comité tutorial

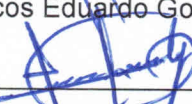
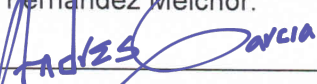
Ensenada, Baja California, México. Septiembre 2022

CARTA DE APROBACIÓN DE TESIS

La presente Tesis MODELO DE PROGRAMACIÓN VISUAL PARA EL DISEÑO LUMÍNICO, INTEROPERABLE EN TECNOLOGÍA *BIM*, fue realizada por el Mtro. Guillermo Antonio Sepúlveda Gil y se presenta como requisito para obtener el Título de:

DOCTOR

El trabajo fue revisado con el Reglamento General Académico de la Universidad Autónoma de Baja California y el Reglamento Interno de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, y ha sido APROBADO por los siguientes sinodales:

Director de Tesis	 _____
	Dr. Marcos Eduardo González Trevizo.
Co-director de Tesis	 _____
	Dr. Francisco Fernández Melchor.
Miembro del comité	 _____
	Dr. Andrés Alberto García González.
Miembro del comité	 _____
	Dra. Karen Estrella Martínez Torres.
Miembro del comité	 _____
	Dr. Julio Cesar Rincón Martínez.

Ensenada, Baja California, México. Septiembre de 2022.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé, no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Ensenada, B.C. México, Septiembre de 2022



Guillermo Antonio Sepulveda Gil

AVAL DE TERMINACIÓN DE TESIS

Fecha: Septiembre de 2022

Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas

Director de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma de Baja California

Presente. -

Para dar cumplimiento al artículo 106 del ESTATUTO ESCOLAR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, en su TÍTULO CUARTO DE LOS TÍTULOS PROFESIONALES, GRADOS ACADÉMICOS Y DIPLOMAS, CAPÍTULO ÚNICO, sobre los requisitos para la obtención del grado de Doctor en Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Como director de tesis en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Facultad de ingeniería, Arquitectura y Diseño Se emite la presente acta que avala que el estudiante:

GUILLERMO ANTONIO SEPULVEDA GIL

ha concluido su Tesis de grado titulada:

MODELO DE PROGRAMACIÓN VISUAL PARA EL DISEÑO LUMÍNICO
INTEROPERABLE EN TECNOLOGÍA *BIM*

Lo anterior en virtud de que se realizaron las correcciones y recomendaciones del comité tutorial, por lo que ha sido aprobada para el proceso de presentación de examen de grado.

Director de Tesis Dr. Marcos Eduardo González Trevizo


Firma

C.c.p. Estudiante.

C.c.p. Expediente.

DEDICATORIA

A Galatea, Jozhua e Isabel.

Gracias por su apoyo, amor y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

*Este trabajo es el resultado de un camino lleno de
autoaprendizaje, a lo largo de un periodo y lugar específico.*

En agradecimiento infinito para aquellos que, con su apoyo, consejos y compañía, permitieron mejorar de manera constante cada parte de esta investigación, al compartir su conocimiento, así como sus puntos de vista, y con ello, permitirme mejorar de manera constante para poder apoyar a otros en un futuro próximo a mediano y largo plazo.

RESUMEN

La siguiente investigación, radica en la exploración de procedimientos implementados para desarrollo de propuestas y ejecución de un sistema de protección solar pasivo, mediante la aplicación de elementos modulados para fachadas de inmuebles, utilizando programas y aplicaciones con licencia educativa, gratuita y de código abierto, que permitan una interoperabilidad BIM de elementos arquitectónicos bajo los criterios de la optimización para independencia solar al interior de espacios de trabajo basados en la NOM-025-STPS-2008 y LEED, así como simulación climática y aplicación de diseño generativo a partir de algoritmos tipo *NSGA-II* supervisados y complementado con nodos personalizados. El caso de estudio fue conducido en un edificio educativo en un clima *BSh* semiárido cálido de latitud media, realizado a través de la implementación de la metodología BIM para obtener un modelo tridimensional, y simulaciones de iluminación natural por medio de programas vectoriales utilizando código abierto, haciendo uso de nuevas métricas dinámicas para valores de Autonomía de iluminación espacial, aplicable a fachadas sur con muros con proporción a ventana superiores a un ~90% o más. Mediante la aplicación de algoritmos especializados y personalizados se logró obtener una mejora del ~95% del impacto en iluminación directa dentro de los espacios simulados de ~49,000lux a ~2,000lux en horarios críticos, regulando la iluminación durante las horas sin incidencia directa, lo cual permitirá el correcto desarrollo de actividades en los espacios simulados, al cumplir con criterios LEED de *sDA* para y con lo sugerido por la NOM Mexicana utilizando solamente iluminación natural durante la mayor parte del día.

Palabras clave: - Interoperabilidad BIM, Diseño Generativo, Algoritmo *NSGA-II*. Metodología *BIM*, Autonomía de iluminación espacial.

ABSTRACT

The following investigation lies in the exploration of procedures implemented for developing proposals and the execution of a passive solar protection system, through the application of modulated elements for building facades, using programs and applications with an educational, free and open source license. That allows BIM interoperability of architectural elements under the criteria of optimization for solar independence within workspaces based on NOM-025-STPS-2008 and LEED, as well as climate simulation and application of generative design from NSGA-II type algorithms supervised and complemented with custom nodes. The case study was conducted in an educational building in a warm semi-arid BSh climate of mid-latitude, conducted through the implementation of the BIM methodology to obtain a three-dimensional model, and simulations of natural lighting through vector programs using open source software, using new dynamic metrics for Spatial Lighting Autonomy values, applicable to south facades with walls with a window ratio greater than ~90% or more. Through the application of specialized and personalized algorithms, it will be adjusted to obtain an improvement of ~95% of the impact on direct lighting within the simulated spaces from ~49,000lux to ~2,000lux hours in critical areas, regulating the lighting during the hours without direct incidence, which will allow the correct development of activities in the simulated spaces, by complying with the LEED criteria of sDA for and with what is suggested by the Mexican NOM using only natural lighting during most of the day.

KEYWORDS: *BIM Interoperability, Generative Design, NSGA-II type algorithms, BIM Methodology, spatial daylight autonomy (sDA).*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
LISTADO DE ABREVIATURAS	XX
LISTADO DE REGLAMENTOS Y ESTANDARES REVISADOS	XXII
LISTADO DE CARACTERES	XXIII
LISTADO DE SÍMBOLOS	XXIV
LISTADO DE UNIDADES	XXV
LISTADO DE FIGURAS APÉNDICE.....	XXVI
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1. PLANTEAMIENTO	5
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3. PERTINENCIA	9
1.4. RELEVANCIA	12
1.5. ANTECEDENTES	15
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	34
2.1. MARCO TEÓRICO	35
2.1.1. MODELADO COMPUTACIONAL.....	37

2.1.2.	<i>BIM (Building Information Modeling)</i>	39
2.1.3.	<i>TECNOLOGÍA Y SIMULACIÓN DENTRO DE ESTUDIOS LUMÍNICOS</i>	40
2.1.4.	<i>LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL (VPL)</i>	45
2.1.5.	<i>DISEÑO Y MODELADO PARAMÉTRICO</i>	48
2.1.6.	<i>MODELADO POR MEDIO DE ALGORITMOS GENERATIVOS</i>	51
2.1.7.	<i>ANÁLISIS CLIMÁTICO</i>	54
2.1.8.	<i>SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES</i>	56
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	57
2.2.1.	<i>LUZ DIURNA Y REFLECTANCIA</i>	58
2.2.1.1.	<i>INTENSIDAD LUMINOSA</i>	66
2.2.1.2.	<i>DISEÑO LUMÍNICO</i>	68
2.2.1.3.	<i>CONFORT LUMÍNICO Y VISUAL</i>	70
2.2.2.	<i>UNIDADES DE MEDICIÓN LUMÍNICA</i>	72
2.2.3.	<i>NUEVAS MÉTRICAS DE MEDICIÓN RELACIONADAS CON ILUMINACIÓN NATURAL</i>	76
2.2.4.	<i>ENVOLVENTES ARQUITECTÓNICOS Y PROTECCIONES PASIVAS</i>	83
2.3.	OBJETIVO DEL ESTUDIO	88
2.4.	DEFINICIÓN DE ALCANCES	89
2.5.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	90
2.6.	HIPÓTESIS	91
2.7.	OBJETO DE ESTUDIO	92
2.8.	IMPACTO POTENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	93
3.	CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	96
3.1.	CONTEXTO GENERAL	97
3.2.	METODOLOGÍA	107
3.2.1.	<i>RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN</i>	119
3.2.2.	<i>ESTANDARES Y REGLAMENTOS LOCALES, NACIONALES E INTERNACIONALES</i>	121

3.3.	UNIDAD DE ANÁLISIS	135
3.4.	SIMULACIÓN Y MODELADO.....	138
3.4.1.	MODELADO CONCEPTUAL.....	145
3.4.2.	CONSTRUCCIÓN DE MODELO	148
3.4.3.	VALIDACIÓN, VERIFICACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MODELO.	156
4.	CAPÍTULO IV. EL DISEÑO DE LA SIMULACIÓN	162
4.1.	PROGRAMACIÓN <i>PYTHON</i> PARA DYNAMO	165
4.2.	PROGRAMACIÓN EN BLOCK DE NODOS EN DYNAMO	178
4.3.	<i>DYNAMO PLAYER SCRIPT</i> PARA ANÁLISIS DE SOMBRA MES, DIA, HORA	179
4.4.	SENSOR VIRTUAL – ILUMINACIÓN ESPACIAL <i>W.I.P.</i>	186
4.5.	INTEROPERABILIDAD BASADA EN EXPORTACIÓN DE ARCHIVOS	192
4.5.1.	CONFIGURACIÓN DE MODELO EN REVIT PARA EXPORTAR A RHINOCEROS 3D VÍA SAT.	194
4.5.2.	CONFIGURACIÓN DE MODELO EN REVIT PARA EXPORTAR A RHINOCEROS 3D VÍA <i>RHINO.INSIDE.</i>	201
4.6.	CONFIGURACIÓN DE LADYBUG Y HONEYBEE.	207
4.7.	SOLUCIONADORES EVOLUTIVOS; VIA GALAPAGOS.....	217
4.7.1.	COMPONENTES.....	218
4.7.2.	GENOMAS.....	220
4.7.3.	FITNESS - OPTIMIZACIONES.....	224
4.7.4.	GENOMAS OPTIMIZADOS.....	227
4.8.	MATRIZ DE NODOS ESPACIALES ADAPTADOS AL PROYECTO.....	229
4.8.1.	SIMULACIÓN SIN PROTECCIÓN EN VENTANAS.....	234
5.	CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	241
5.1.	RESULTADOS	243
5.1.1.	SIMULACIÓN CON PROTECCIÓN PASIVAS FIJA EN VENTANAS.	244

5.1.2.	<i>COMPARATIVO DE DATOS.</i>	251
5.1.3.	<i>INTEROPERABILIDAD DE DATOS.</i>	256
5.1.4.	<i>CONFIGURACIÓN DE MODELO EN REVIT PARA PRESENTACION DE PROYECTO.</i>	260
DISCUSION		263
CONCLUSIONES		265
LIMITACIONES.		271
FUTURAS INVESTIGACIONES		275
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		277
APENDICE		289

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Programas BIM en el mercado actual.....	25
Tabla 2 Lenguajes utilizados para desarrollar funciones dentro de programas especializados.....	28
Tabla 3 Definiciones con mayor relevancia dentro del entorno BIM.....	39
Tabla 4 Programas especializados para simulaciones Luminico-Ambiental.....	41
Tabla 5 Tipos de algoritmos en diseño generativo	52
Tabla 6 Aplicaciones especializadas para uso interoperable bajo la metodología BIM.....	60
Tabla 7 Diferencia entre Iluminancia y Luminancia.....	69
Tabla 8 Niveles máximos permisibles del factor de Reflexión.....	80
Tabla 9 Resumen de Métricas de Iluminación y energía.....	82
Tabla 10 Datos particulares del inmueble	101
Tabla 11 Valores de espacio con lectura en sitio y simulación.....	112
Tabla 12 Categoría típicas de espacios evaluados en simulaciones.....	113
Tabla 13 Herramientas e instrumentos utilizados en esta investigación.....	120
Tabla 14 Niveles Mínimos con iluminación artificial Reglamento de Baja California.....	122
Tabla 15 Niveles Mínimos con iluminación artificial Reglamento de Tijuana, B.C.	123
Tabla 16 Niveles de Iluminación en distintos espacios.....	125
Tabla 17 Estaciones meteorológicas empleadas para elaborar archivo EPW	128
Tabla 18 Puntos de medición basada en la NOM-025-STPS-200	136
Tabla 19 Características específicas de LOD (Level of Development).....	143
Tabla 20 Desglose de interfaz de Revit.....	154
Tabla 21 Simulaciones realizadas para optimización de elementos.....	227
Tabla 22 Información en nodos en Aula sin protección	235
Tabla 23 Valores de DGP	240
Tabla 24 Información en nodos en Aula con protección	247

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comparativo de búsqueda de los programas más populares en el mercado	
mexicano para BIM.....	11
Figura 2 Alcances y características de BIM EXECUTION PLAN	13
Figura 3 Puntos relevantes de La Agenda para el Desarrollo Sostenible.....	15
Figura 4 Proceso de elaboración de geometría en Grasshopper	22
Figura 5 Ecosistema de interoperabilidad BIM	23
Figura 6 Línea del tiempo en el desarrollo de la metodología BIM.....	24
Figura 7 Ejemplo de aplicación de diseño paramétrico y generativo.	27
Figura 8 Comparativo de lenguaje Python para Dynamo y Grasshopper.....	29
Figura 9 Proceso tradicional para generar modelos de simulación con iluminación natural	
y/o artificial.	30
Figura 10 Comparativo de diseño basado en una metodología y diseño libre.	32
Figura 11 Propuesta de proceso de trabajo, interoperabilidad BIM.	36
Figura 12 Isométrico con desplazamiento de niveles.	43
Figura 13 Sistema Sketchpad, 1963, Ivan Sutherland.	45
Figura 14 Visualización de script para programación visual	47
Figura 15 Conceptualización de un Diseño Generativo.....	49
Figura 16 Proceso para obtener resultados de un diseño generativo.	51
Figura 17 Diagrama de funcionamiento de modelado generativo.	53
Figura 18 WWR de ventanas sur de aulas Nivel 01	55
Figura 19 Espectro electromagnético	61
Figura 20 Espectro electromagnético de la luz.....	62
Figura 21 Simulación de Luz natural dentro de un espacio con ventana fija.....	63
Figura 22 Lectura en lux respecto al reglamento municipal de Tijuana B.C.	65
Figura 23 Clasificación de unidades de medición para el diseño lumínico.....	68
Figura 24 Iluminancia sobre una superficie plana genérica.....	73
Figura 25 Clasificación de superficies según su tipología.....	84

Figura 26 Clasificación de superficies según su tipo de flexión y formato de diseño.....	85
Figura 27 Protecciones pasivas consideradas para esta investigación.....	86
Figura 28 Protectores solares pasivos aplicables al inmueble.....	87
Figura 29 Comparativo de formatos de trabajo BIM y tradicionales en la arquitectura.....	94
Figura 30 Proceso de diseño BIM.....	95
Figura 31 Volumetría general de Valle de las Palmas	97
Figura 32 Clasificación tipo 3B ASHRAE	98
Figura 33 Representación foto realista del inmueble de estudio.	100
Figura 34 Precisiones metodológicas.....	103
Figura 35 Mapa global para la clasificación climática.....	104
Figura 36 Delimitación del periodo de simulación a partir de Gráficas Iluminación Global	
Horizontal y periodo señalado por LEED V4.	106
Figura 37 Puntos de lectura basados en la NOM-025-STPS-2008	110
Figura 38 Selección de espacio para el desarrollo de simulaciones.	114
Figura 39 Propuesta de elaboración de modelo BIM	115
Figura 40 Retículas de simulación según los m² espaciales.	116
Figura 41 Representación en croma de colores de planta y volumen	118
Figura 42 Comparativo de formato de trabajo tradicional contra la propuesta 209-2018 de	
ASHRAE	131
Figura 43 Valores de sDA según LEED V4	132
Figura 44 Elementos de iluminación considerados para certificación WELL.....	134
Figura 45 Vista de planta e isométrico de espacio a simular.....	137
Figura 46 Modelo físico y gemelo digital.....	139
Figura 47 Visualización esquemática de la metodología a implementarse.	141
Figura 48 Modelo 3D de edificio F	142
Figura 49 Representación gráfica de LOD	144
Figura 50 Formato de simulación vía Simple Model Box.....	146

Figura 51	Proceso de modelado y simulación	147
Figura 52	Procedimiento para elaboración de una planta a partir de croquis	148
Figura 53	Modificación de croquis a modelo Nivel 0	149
Figura 54	Incorporación de datos de geolocalización	150
Figura 55	Proceso para crear una volumetría a partir de dibujo 2D.....	151
Figura 56	Identificación del punto 0 o inicio del modelo	152
Figura 57	Interfaz de Revit Architecture	153
Figura 58	Isométrico de edificio F.....	157
Figura 59	Isométrico de edificio F, señalamiento del aula para análisis de iluminación.....	158
Figura 60	Sun Path de Valle de las Palmas	159
Figura 61	rangos de niveles de iluminación normal directa e iluminación global directa....	160
Figura 62	Propuesta de elementos pasivos de protección en ventana	161
Figura 63	Modelo de simulación con archivos interoperables en BIM.	164
Figura 64	Visualización de nodos esenciales de Dynamo para Revit Archtitecture.....	165
Figura 65	Visualización general de la plataforma de Revit API Docs	166
Figura 66	Visualización de código de nodo Python	167
Figura 67	Código de texto Python.....	168
Figura 68	Creación de nuevo material	169
Figura 69	Líneas de código para ingresar nuevos materiales	170
Figura 70	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 01	171
Figura 71	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 02	171
Figura 72	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 03	172
Figura 73	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 04	173
Figura 74	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 05	174
Figura 75	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 06	175
Figura 76	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 07	176
Figura 77	Proceso de preparación de código Python en Dynamo 08	177

Figura 78 Ejemplo simplificado de código en block	178
Figura 79 Formato común de sombras en planta arquitectónica.	180
Figura 80 Formato modificado de sombras en planta arquitectónica vía Dynamo Player. ..	181
Figura 81 Proceso para exportar imagen.	182
Figura 82 Script para exportación de datos de sombras. Parte 01.....	183
Figura 83 Script para exportación de datos de sombras. Parte 02.....	183
Figura 84 Script para exportación de datos de sombras. Parte 03.....	184
Figura 85 Script para exportación de datos de sombras. Parte 04.....	185
Figura 86 Volumetría automatizada mediante Dynamo	187
Figura 87 Retícula de trabajo interno dentro del espacio de trabajo.	187
Figura 88 Verificación de puntos en retícula manual.....	188
Figura 89 Visualización de vectores de simulación.	189
Figura 90 Visualización de familia de simulación.....	190
Figura 91 Familia desarrollada para revisión de puntos de luz dentro de un espacio.....	191
Figura 92 Proceso de interoperabilidad deseable entre Revit y Rhino 3D.	193
Figura 93 Paso 01 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D.....	194
Figura 94 Paso 02 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D ®.	195
Figura 95 Paso 03 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D ®.	196
Figura 96 Paso 04 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D ®.	197
Figura 97 Paso 05 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D ®.	198
Figura 98 Paso 06 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D ®.	199
Figura 99 Paso 07 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D ®.	200
Figura 100 Script básico para interoperabilidad Revit a Rhinoceros vía Rhino.Inside	202
Figura 101 Visualización de modelo de Revit a Rhino utilizando los bakes de Rhino.Inside.	203
Figura 102 Información del Id.	204
Figura 103 Script para migrar información de elementos y familias.	205

Figura 104 Script para migrar información de elementos.	206
Figura 105 Proceso de programas y aplicaciones implementadas por Ladybug Tools	207
Figura 106 Nodos de Ladybug y Honeybee funcionado correctamente.	208
Figura 107 Preparación de acceso a archivo EPW.....	209
Figura 108 Implementación de norte para orientar correctamente el/los objetos.	210
Figura 109 Input EPW es un nodo que permite desglosar la información interna.	211
Figura 110 Integración de archivo EPW al Script	212
Figura 111 Nodos funcionando correctamente.	213
Figura 112 Integración del nodo de SunPath 01.....	214
Figura 113 Integración de datos a nodo de SunPath 02.	215
Figura 114 Diagrama de Script para optimización de Louvers.	216
Figura 115 Nodo principal de Galapagos y Gene Pool	219
Figura 116 Conexión a Nodo de Galapagos	220
Figura 117 Cluster personalizado para elaborar Louvers.....	221
Figura 118 Visualización de Genomas dentro de Galapagos.....	222
Figura 119 Visualización de resultados textuales de los Genomas.	223
Figura 120 Optimización de algoritmo vía Galapagos.02	225
Figura 121 Visualización del proceso evolutivo de Galapagos	226
Figura 122 Corte Isométrico de espacio de estudio, Aula F113, Nivel 01, Edificio F.....	228
Figura 123 Script para selección de superficie inferior en Brep.....	229
Figura 124 Formato de presentación visual sobre superficies de Ladybug.....	230
Figura 125 Script para división en U y V de superficie inferior en Brep.	231
Figura 126 Vista axonometrica y de planta del espacio o aula donde se desarrollaron las simulaciones.....	232
Figura 127 Script para exportar información de Grasshopper a Excel.	233
Figura 128 Valores sin protección en ventana sur	234
Figura 129 Grafica de comportamiento de la iluminacion directa.	237

Figura 130 Representación visual de las lecturas de los nodos en aula sin protección.	238
Figura 131 Valores sin protección de ventana en aulas	239
Figura 132 Valores de Glare sin protección en ventana.	240
Figura 133 Visualización de Vectores solares en protección pasiva.	245
Figura 134 Lecturas con elementos de protección pasiva al sur.	246
Figura 135 Grafica con lectura de nodos implementando la protección pasiva en fachada sur.	248
Figura 136 Lecturas de los implementando la protección pasiva en fachada sur.....	249
Figura 137 Espacio con protección en fachada sur.	251
Figura 138 Comparativa de valores en relacion a espacio sin protección y con proteccion de ventana.	252
Figura 139 Valores con protección de ventana en aulas	253
Figura 140 Valores de Glare con protección en ventana.	254
Figura 141 Comparativos digitales con y sin proteccion de ventana	255
Figura 142 Ejemplo de familia utilizada dentro del proyecto desarrollado para esta investigación.	257
Figura 143 Comparativo de visualización entre ambos programas. 01	258
Figura 144 Comparativo de visualización entre ambos programas 02.	259
Figura 145 Comparativa del impacto lumínico en aulas y espacios de Nivel 1	260
Figura 146 Render del edificio F con Louvers en Fachada sur.....	261
Figura 147 Visualización de la incidencia solar en Aula Nivel 01	262
Figura 148 Etiqueta de nodos obsoletos indicada con OLD.	276

LISTADO DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	CARACTERÍSTICA	SIGNIFICADO
3D	GEOMETRÍA	ESTRUCTURA GEOGRÁFICA TRIDIMENSIONAL (X, Y, Z).
4D	TIEMPO	3D + TIMELINE, PROGRAMACIÓN Y DURACIÓN
5D	ECONOMICA	4D + ESTIMACIÓN DE COSTOS, ANÁLISIS PRESUPUESTARIO
6D	SUSTENTABILIDAD	5D + AUTO SOSTENIBLE Y ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE
7D	GESTIÓN DE INSTALACIONES	6D + INFORMACIÓN DE GESTIÓN DE INSTALACIONES
AEC	ORGANIZACIÓN	ARCHITECTURE ENGINEERING CONSTRUCTION
AIA	INSTITUCIÓN	AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS
API	INTERFACE	APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE
ASE	EVALUACIÓN DINÁMICA	ANNUAL SUN EXPOSURE
ASHRAE	ORGANIZACIÓN	AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS
BEM	PROCESO DE MODELO	<i>BIM</i> ENERGY MODELING
BEP	PROCESO DE MODELO	BIM EXECUTION PLAN
BIM	PROCESO DE MODELO	BUILDING INFORMATION MODELLING
BPA	PROCESO DE MODELO	BUILDING PERFORMANCE ANALYSIS
BPS	PROCESO DE MODELO	BIM PROJECT SOLUTIONS
BSI	NORMATIVA	BRITISH STANDARDS INSTITUTION
CAD	PROCESO DE MODELO	COMPUTER-AIDED DESIGN
CAM	PROCESO DE MODELO	COMPUTER AIDED MANUFACTURING
CFD	SIMULACION	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
CMS-ES	ALGORITMO	<i>COVARIANCE MATRIX ADAPTATION EVOLUTION STRATEGY</i>
DA	EVALUACIÓN DINÁMICA	DAYLIGHT AUTONOMY
HVAC	PROCESO DE MODELO	HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING.
IBPSA	ORGANIZACIÓN	INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION
IFC	NORMATIVA	INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION
ISO	ESTANDAR ISO	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
LEED	PROCESO DE MODELO	LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN
LOD	PROCESO DE MODELO	LEVEL OF DEVELOPMENT
MIC	PROCESO DE MODELO	MODELADO DE INFORMACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN
NBS	INSTITUCIÓN	NATIONAL BUILDING SPECIFICATION
NETZERO	PROCESO DE MODELO	NOT ADDING TO THE AMOUNT OF GREENHOUSE GASES IN THE ATMOSPHERE
NMX	NORMATIVA	NORMAS MEXICANAS
NOM	NORMATIVA	NORMAS OFICIALES MEXICANAS
NSGA-II	ALGORITMO	ONE EVOLUTIONARY ALGORITHM

ABREVIATURA	CARACTERÍSTICA	SIGNIFICADO
<i>NURBS</i>	PROCESO DE MODELO	NON-UNIFORM RATIONAL B-SPLINES
<i>PAS-1192</i>	ESTANDAR ISO	SERIES OF SIX PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATIONS THAT WERE DEVELOPED IN RESPONSE TO THE NEED FOR CLARITY ON HOW TO MANAGE INFORMATION DURING PROJECTS DELIVERED THROUGH LEVEL 2 BIM
<i>RIBA</i>	INSTITUCIÓN	ROYAL INSTITUTE OF BRITISH ARCHITECTS
<i>sDA</i>	EVALUACIÓN DINÁMICA	SPATIAL DAYLIGHT AUTONOMY
<i>SENER</i>	INSTITUCIÓN	SECRETARÍA DE ENERGÍA
<i>STPS</i>	INSTITUCIÓN	SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL
<i>TPE</i>	ALGORITMO	<i>TREE PARZEN ESTIMATOR</i>
<i>UDI</i>	EVALUACIÓN DINÁMICA	USEFUL DAYLIGHT ILUMINANCE
<i>UN</i>	INSTITUCIÓN	UNITED NATIONS
<i>USGBC</i>	INSTITUCIÓN	US GREEN BUILDING COUNCIL
<i>VDC</i>	PROCESO DE MODELO	VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION
<i>VPL</i>	PROCESO DE MODELO	<i>VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE</i>
<i>WELL</i>	INSTITUCIÓN	WELL CERTIFICATION INCLUDES THE SUBMISSION OF PROJECT DOCUMENTATION AND ONSITE AUDIT,
<i>WWR</i>	PROCESO DE MODELO	WINDOW TO WALL RATIO

LISTADO DE REGLAMENTOS Y ESTANDARES REVISADOS

NOMBRE	NAC-INT	TIPO	Apartado	DESCRIPCIÓN
GOB-BC	NACIONAL	REGLAMENTO	CAPÍTULO XIX EDIFICACIONES PARA LA EDUCACIÓN, EN SU ARTÍCULO XIX – 2 ILUMINACIÓN Y VENTILACIÓN	CARACTERISTICAS MINIMAS PARA ILUMINACION EN ESPACIOS HABITABLES Y DE TRABAJO
GOB- TIJUANA	NACIONAL	REGLAMENTO	SECCIÓN II – NIVELES DE ILUMINACIÓN Y VENTILACIÓN: ARTÍCULO 76-77	CARACTERISTICAS MINIMAS PARA ILUMINACION EN ESPACIOS HABITABLES Y DE TRABAJO
NOM-025- STPS-2008	NACIONAL	ESTANDAR	NIVELES DE ILUMINACIÓN EN DISTINTOS ESPACIOS.	CARACTERISTICAS MINIMAS PARA ILUMINACION EN ESPACIOS DE TRABAJO
ASHRAE STANDARD 55	INTERNACIONAL	ESTANDAR	ESTABLECE LOS RANGOS Y CONDICIONES AMBIENTALES TÉRMICAS PARA LA OCUPACIÓN HUMANA	ESTABLECE LAS CONDICIONES TERMICAS ACEPTABLES PARA LOS USUARIOS DE UN INMUEBLE
ASHRAE STANDARD 90.1	INTERNACIONAL	ESTANDAR	ASIGNACIONES DE POTENCIA DE ILUMINACIÓN	ESTABLECE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGETICA Y AHORRO DE ENERGIA A NIVEL LOCAL A UN NIVEL GLOBAL.
ASHRAE STANDARD 169	INTERNACIONAL	ESTANDAR	DISEÑOS DE EDIFICIOS Y EQUIPOS BASADOS EN DATOS DE LAS DISTINTAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	ESTABLECE LAS CONDICIONES CLIMATICAS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE UN INMBUEBLE
ASHRAE STANDARD 209/2018	INTERNACIONAL	ESTANDAR	RUTA DETALLADA SOBRE LOS PROCESOS DE DISEÑO DE UN MODELO COMPUTACIONAL	ESTABLECE LAS CONDICIONES PARA REALIZAR SIMULACIONES ASISTIDAS POR COMPUTADORA EN UN INMUEBLE
LEED V4 sDA300/50%	INTERNACIONAL	CERTIFICACIÓN	PERMITE OBTENER PUNTOS POR ILUMINACIÓN NATURAL DENTRO DE UN INMUEBLE	ESTABLECE LAS CONDICIONES MINIMAS PARA CONSIDERACION DE UNA PUNTUACIÓN FAVORABLE EN LA CERTIFICACIÓN.
WEEL INSTITUTE	INTERNACIONAL	CERTIFICACIÓN	ESPECÍFICAS PARA LA CERTIFICACIONES QUE INTEGRAN EL BIENESTAR DEL USUARIO PUNTO 60-62	ESTABLECE LOS ELEMENTOS A CONSIDERAR PARA EL BIENESTAR DEL USUARIO FINAL DEL INMUEBLE EN LOS ESPACIOS DE TRABAJO.

LISTADO DE CARACTERES

ABREVIATURA	CARACTERÍSTICA	SIGNIFICADO
.3dm	ARCHIVO VECTORIAL	THREE-DIMENSIONAL MARKUP LANGUAGE
.acis	ARCHIVO TRIDIMENSIONAL	GEOMETRIC MODELING KERNEL DEVELOPED BY SPATIAL CORPORATION (FORMERLY SPATIAL TECHNOLOGY), PART OF DASSAULT SYSTEMES
brep	ARCHIVO TRIDIMENSIONAL	BOUNDARY REPRESENTATION
.csv	ARCHIVO DE TEXTO	COMMA SEPARATED VALUES
.ddy	ARCHIVO BINARIO	ASHRAE DESIGN CONDITIONS DESIGN DAY DATA FILES
.dll	ARCHIVO ENLACE DINÁMICO	DYNAMIC LINK LIBRARY
.dwg	ARCHIVO VECTORIAL	BINARY FILE FORMAT USED FOR CONTAINING 2D AND 3D DESIGN DATA.
.dyn	ARCHIVO BINARIO	DYNAMO BIM DATA FILE
.epw	ARCHIVO BINARIO	ENERGYPLUS WEATHER DATA FILE
.gbxlm	ARCHIVO BINARIO	GREEN BUILDING XML SCHEMA
.gh	ARCHIVO BINARIO	FILE EXTENSION IS ASSOCIATED WITH THE GRASSHOPPER
.ghx	ARCHIVO BINARIO	A GEOMETRY-GENERATING PROGRAM CREATED USING GRASSHOPPER
.obj	ARCHIVO TRIDIMENSIONAL	GEOMETRY DEFINITION FILE FORMAT
.py	ARCHIVO BINARIO	SOURCE CODE WRITTEN IN PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE
.rte	ARCHIVO TRIDIMENSIONAL	PROJECT TEMPLATE CREATED WITH REVIT
.sat	ARCHIVO TRIDIMENSIONAL	SPATIAL 3D ACIS MODELING ENGINE
.txt	ARCHIVO DE TEXTO	TEXT FILE

LISTADO DE SÍMBOLOS

ABREVIATURA	CARACTERÍSTICA	SIGNIFICADO
n		NÚMERO DE ELEMENTOS FIJOS
i		ESTADO DE DESPLAZAMIENTO DEL OBJETO
α_i		ÁNGULO O INCLINACIÓN DEL ELEMENTO.
σ		SUMATORIA
k		CONSTANTE DEL SALÓN
l		LARGO DEL ESPACIO
a		ANCHO DEL ESPACIO
h		ALTURA DE LUMINARIAS SOBRE PLANO ÚTIL.
$<$		MENOR QUE
$>$		MAYOR QUE
$\sim$		APROXIMADAMENTE
$^{\circ}\text{C}$		GRADO CENTÍGRADO
α_{max}		ANGULO DE INCLINACIÓN MÁXIMO
α_{min}		ANGULO DE INCLINACIÓN MÍNIMO
$d\phi$		ELEMENTO DE ÁREA PARA COCIENTE DE FLUJO LUMINOSO
dA		PUNTO DE ÁREA PARA COCIENTE DE FLUJO LUMINOSO
e		COCIENTE DE FLUJO LUMINOSO
lux		UNIDAD PARA MEDICIÓN DE ILUMINANCIA EN SUPERFICIE
lm		UNIDAD PARA FLUJO LUMINOSO
ft		PIE
ft^2		PIE CUADRADO
m^2		METRO CUADRADO
cd		CANDELA
$\cos\theta$		COSENO
$d\Omega$		ANGULO DE PROPAGACIÓN SOBRE SUPERFICIE DE SOLIDO

LISTADO DE UNIDADES

UNIDAD	ABREVIATURA	Medición
Milímetro	mm	Longitud
Centímetro	cm	Longitud
Metro	m	Longitud
Pulgada	Inch	Longitud
Metro cuadrado	m ²	Área
Pulgada cuadrada	in ²	Área
Candela	cd	Iluminación
Lumen	Lm	Iluminación
Hertz	Hz	Frecuencia
Lux	lx	Iluminación

LISTADO DE FIGURAS APÉNDICE

Apéndice 1 Planta Baja, Edificio F, FCITEC Valle de las Palmas.....	290
Apéndice 2 Nivel 01, Edificio F, FCITEC Valle de las Palmas.....	291
Apéndice 3 Nivel 02, Edificio F, FCITEC Valle de las Palmas.....	292
Apéndice 4 Planta de Conjunto, Edificio F, FCITEC Valle de las Palmas.	293
Apéndice 5 Vista Isométrica, Edificio F, FCITEC Valle de las Palmas.....	294
Apéndice 6 Alzado posterior, Alzado Principal, Edificio F, FCITEC Valle de las Palmas.....	295
Apéndice 7 Alzado Lateral Izquierdo, Alzado Lateral Derecho, Edificio F, FCITEC Valle de las Palmas.	296
Apéndice 8 Código Qr – Acceso a Información en la nube_ Plataforma Google Drive.....	297

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, fue realizado como un proceso que busca llegar a un modelo que sea reproducible, ya sea por un usuario académico, un profesionalista independiente, un modelador de un despacho arquitectónico, un trabajador de una dependencia publica o bien, un estudiante con necesidades específicas que inician dentro de los procesos de simulación energética o iluminación, siendo este último el usuario para la investigación que se desarrolla aquí. Esto mediante la implementación de un conjunto de procedimientos que permitan enriquecer la formación de dicho usuario o bien, facilitar las funciones para aquellos investigadores que no cuentan con acceso a programas de licenciamiento para simulaciones. Al momento de iniciar este trabajo en 2019, los elementos aquí empleados contaban con muchas limitaciones, específicamente *Rhino.Inside*, ya que muchos de los procesos de interoperabilidad entre *Revit* y *Rhinoceros* 3D se realizaban vía datos .csv (*Comma Separated Values text file format* por sus siglas en inglés) que ya en 2022 empiezan a normalizarse, no obstante, por tratarse de elementos gratuitos o de licenciamiento educativo, están a la orden del día en cambios que pueden ocurrir en el cambio de una versión a otra.

Ahora bien, el proceso no fue a sido sencillo, y al momento de escribir estas líneas, se sigue considerando como un trabajo en desarrollo o *W.I.P.* (*Work In Progress por sus siglas en ingles*), el método buscado, se basa en un ecosistema poco entendido en México por la academia al momento, ya que utiliza 3 elementos que han sido poco difundidos dentro de nuestro país, estos basados en la metodología de trabajo *BIM* (*Building Information Modeling por sus siglas en inglés*) o Modelado De Información de la Construcción (MIC por su acrónimo según la SHCP) en Edificaciones, no obstante para el desarrollo de este trabajo la metodología y formatos serán referidos como *BIM*, esto por seguir un orden con los lineamientos internacionales y a su vez, por respetar los formatos encontrados y que pueden ser utilizados en la zona fronteriza donde actualmente se desarrolló este trabajo, pensando en que la información sea utilizada por los alumnos de la unidad de Valle de las Palmas y que pueden laborar en empresas binacionales.

Por otro lado, dentro de aquellos elementos y características con importancia dentro de este trabajo, se enfocan en la simulación energética con un enfoque en las nuevas métricas

implementadas para iluminación natural al interior de espacios de trabajo o donde son desarrolladas actividades específicas con fines educativos o recreativos, buscando obtener el confort del usuario dentro de dichos espacios antes mencionados, esto mediante la aplicación de normativas nacionales e internacionales, las cuales no tienen un impacto significativo al momento de realizar un proyecto arquitectónico, ya que los datos que forman parte un proyecto ejecutivo no contemplan este tipo de estudios y por ende, este tipo de estudios y simulaciones no son consideradas al momento de ser entregadas ante instancias públicas, tanto municipales o estatales, y estas no conllevan a la entrega de resultados con impactos favorables para el usuario o bien, optimización de recursos energéticos que procuren que las edificaciones sean sustentables, sin embargo, este tipo de estudios, son necesarios para el desarrollo de cualquier inmueble en países como Estados Unidos o aquellos que forman parte de la Unión Europea, por mencionar algunos.

Esto se puede ver reflejado en la actualidad, ya que el sector privado acude con mayor frecuencia a la aplicación de programas especializados para la validación de datos de simulación y el análisis del comportamiento lumínico o energético de un espacio, fachada, inmueble o edificio, implementando programas especializados en los cuales se presenta con mayor medida dentro del entorno especializado e investigaciones académicas, ya que a partir de este tipo de simulaciones virtuales, se permite tener un control sobre elementos muy específicos a desarrollar o bien, generar información desde los procesos iniciales del diseño arquitectónico, a la vez, permite llevar un mejor control sobre los distintos cambios que puedan ocurrir durante las distintas etapas de diseño previo a ser construido o bien, un inmueble o edificio construido. Ya sea bajo un contexto información particular, con información generada a partir de mediciones controladas por medio de estaciones meteorológicas o con datos generados artificialmente mediante información climática interpolada para la elaboración de distintos escenarios, pues existen metodologías de trabajo las cuales permiten ajustar las especificaciones precisas respecto las características constructivas y de orientación inmueble.

Es así como se busca el desarrollar una método que permita implementar reglamentos y estándares especializados, desarrollados por instituciones nacionales como internacionales, que puedan ser utilizado e implementado por distintos usuarios, usando elementos hospedados dentro de repositorios de recursos y elementos con diferentes estrategias aplicables a micro y

macro escalas, basada en los puntos principales de *ASHRAE* (o *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers por sus siglas en inglés*) e *IBPSA* (o *International Building Performance Simulation Association por sus siglas en inglés*) o bien de la STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social) para actividades donde se requiera iluminación específica (2030-Palette, 2020; AIAU-AIA, 2020; ASHRAE, 2017a; Ghobad, 2018; Hamza y DeWilde, 2014).

No obstante, el diseño generativo aplicado por medio de programación visual al hacer uso de aplicaciones de código abierto, es un tema que poco a poco toma fuerza entre académicos y el sector privado dentro del ámbito nacional por las ventajas que puede traer. Por lo tanto, el presente trabajo genera e implementa un modelo de programación visual para el diseño lumínico, interoperable en la metodología y tecnología que implican los procesos BIM, pues hace uso de las herramientas que brindan facilidad para el desarrollo de un modelo tridimensional y se respalda con reglamentos actuales de índole nacional e internacional, a partir de la aplicación de diseño generativo supervisado implementando algoritmos como *NSGA-II* (*Non-dominated sorting genetic algorithm II por sus siglas en inglés*) o *CMS-ES* (*Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy por sus siglas en inglés*) optimiza los procesos de diseño y soluciones espaciales. Esto mediante 5 capítulos y una sección de apéndices, el cual cuenta con la información principal de esta investigación.

Y, por último, uno de los elementos que se busca también solventar, es que el uso de los elementos desarrollados, puedan ser aplicados y reproducidos dentro de equipos no especializados y estos cumplan con los requisitos mínimos según lo que estipulan los desarrolladores de aquellos programas con licenciamiento educativo que fueron empleados dentro de esta investigación, y los elementos aquí desarrollados puedan usarse para elaborar simulaciones simples a complejas.

1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

*"The history of architecture is the
history of the struggle for light."*

Le Corbusier

1.1. PLANTEAMIENTO

El desarrollo de la presente investigación versa sobre los avances técnicos y metodológicos concernientes al entorno arquitectónico, específicamente, explora las aplicaciones y posibilidades de diseño a través de programas especializados o software, que pueden ser modificados mediante su propio código *API* (*Application Programming Interface* por sus siglas en inglés) con la finalidad de obtener resultados óptimos dentro de estudios orientados al aprovechamiento de iluminación natural para el desarrollo de actividades dentro de un espacio, así como al confort lumínico y visual, por medio del uso e implementación de programas como *Revit Architecture* de Autodesk en conjunto con su extensión de programación visual *Dynamo*, el cual puede generar un apoyo en la automatización de tareas enfocadas a documentación y simulaciones simples, o bien, *Rhinoceros 3D* de McNeel como programa de apoyo vectorial CAD (*Computer Aid Design* por sus siglas en inglés) con su extensión de programación visual *Grasshopper*, la cual tiene un alcance mayor por estar basado en funciones con un lenguaje abierto de programación, el cual permite el desarrollo de aplicaciones enfocadas a simulación, tal es el caso de *Ladybug Tools* la cual es empleada para el análisis lumínico espacial por medio de nuevas métricas dinámicas de iluminación.

O bien, lograr una interoperabilidad con *Revit* vía *Rhino.Inside Revit*, una extensión que integra las funciones de *Rhinoceros 3D* dentro de las funciones de Revit, ya que esta funciona como aplicación *.dll* (*Dynamic Link Library* por sus siglas en inglés), que abre posibilidades de interacción entre dichos programas funcionando de manera integrada y simultánea por facilitar la interacción de *Rhino3D* como una extensión interna de Revit, la cual permite reconocer complementos y aplicaciones de *Grasshopper* como *Elefront* o aquellos nodos desarrollados específicamente para la interacción entre los programas antes mencionados.

A pesar de que el diseño mediante *BIM* o *Building Information Modeling*, inicia a principio de la década de 1980, esta empieza a acuñarse dentro de la arquitectura gracias a *Graphisoft*, de Gábor Bojár, quien en 1982 desarrolla el proyecto de tuberías y ductos industriales de la planta nuclear *Paks* en 1982, para 1986 aparecería la versión 1.0 de *ArchiCAD*, llamada Radar CH, esta una variante de los flujos de trabajo tipo CAD, y para 1987, se inicia con los conceptos de Virtual Building (Edificaciones Virtuales), al ser este punto el predecesor de BIM en la arquitectura (Zapata, 2017).

No obstante, la adopción de esta metodología de trabajo empieza a implementarse de manera constante hasta inicios del año 2000, proporcionando un mejor acercamiento al usuario no especializado, esto concibe un nuevo sistema de diseño y construcción, que pone en marcha la coordinación dentro de los procesos de etapa digital incorporando los modelos desarrollados en tres dimensiones, información real de los materiales, cuantificación en tiempo real, y todo el esquema de trabajo que se introduce con *BIM* (Autodesk, 2004, 2005; Fox y Balding, 2005).

Dentro de los inicios de la metodología *BIM*, inicialmente era aplicable a proyectos piloto, motivando a la comunidad de arquitectos, ingenieros, personas de la construcción, gestión de instalaciones y administración de los recursos, a trabajar de manera eficiente, actualmente ha sumado funciones de análisis de ciclo de vida, eficiencia energética, emisiones de gases de efecto invernadero, ciclos de material de circuito cerrado e incluso, diseño paramétrico en edificios nuevos o existentes (Volk et al., 2014).

1.2. JUSTIFICACIÓN

La metodología *BIM*, está definida como el proceso de generación y gestión de datos dentro de un proyecto de construcción durante todo su ciclo de vida, mediante este, se pueden realizar distintos tipos de simulaciones (Mordue et al., 2016), entre estas, la más importante pasa a ser la construcción virtual, también conocida como *VDC* (*Virtual design construction por sus siglas en inglés*), en esta, se genera toda la documentación completa de un inmueble a nivel específico de detalle, facilitando el proceso de construcción y fabricación manual, mecánica o digital, a su vez, este llega a tener una relación con otros programas externos al formato *BIM*, ejemplo de estos los de índole *CAD*, otros tipo *CAM* (Computer-Aided Manufacturing por sus siglas en inglés) costos y programación de obra, así como distintos simuladores virtuales, tales como: mecánica de fluidos o *CFD* (*Computational Fluid Dynamics por sus siglas en inglés*), estructurales, mecánicas, plomería, electricidad, por mencionar algunas disciplinas que convergen dentro de la metodología de trabajo *BIM* (Kensek y Noble, 2014; Messner et al., 2019; Mordue et al., 2016).

Dentro de los elementos que se contemplan dentro de esta metodología son; ubicación geográfica, materiales de piso, envolventes y cubierta, características físicas, térmicas y estéticas de los materiales, nomenclaturas, componentes, etc. que logre generar toda la información

necesaria, la que posteriormente se implementa y utiliza por distintas disciplinas que intervienen en el desarrollo y construcción del modelo, para cumplir la funcionalidad y representación de un proyecto tridimensional, pasando a ser una de las metodologías empleadas en niveles a gran escala, infraestructura e instalaciones especiales (Charef et al., 2018).

Por otro lado, el diseño lumínico tiene relevancia por la implementación de los nuevos estándares y reglamentos de diseño aplicables a nivel internacional (AIA, 2019; Hong et al., 2017; Overbey, 2018; Parkinson, 2018), que entrarán en vigor en México a partir del 2024 (SHCP, 2019) para edificaciones e inmuebles públicos y privados, las cuales buscan la ejecución de nuevas tecnologías que permitan transparencia en el manejo de obra, optimización de recursos y autonomía energética, estos últimos, contemplados por estándares como los de *LEED V4 (Leadership in Energy and Environmental Design por sus siglas en inglés)* o *WELL Institute (WELL Building Standard por sus siglas en inglés)*, ya sea por optimización del inmueble o mejor calidad para el desarrollo de actividades por parte de los usuarios (Delos Living LLC, 2016; LEED, 2009), solo por mencionar algunos de los más importantes, ya que en México, aún sigue sin regularse de manera estandarizada aquellos conceptos relevantes con Iluminación natural dentro de espacios habitables, de trabajo o para el desarrollo de actividades de diverso tipo, al tener solo Normas para Eficiencia Energética en la Iluminación, o bien, la NOM-025-STPS-2008.

Dentro de los aspectos a considerados dentro de esta investigación, se espera que para el año 2030, más del 90% de las edificaciones cuente con elementos que les permitan una independencia energética y les permita ser autosuficientes (AIAU-AIA, 2020), esto basado en un proceso de diseño y tecnologías que las nuevas edificaciones deberán integrar desde su concepción, es la optimización de recursos, debiéndose incluir todos aquellas que aborden una relación directa en la optimización de la iluminación en espacios interiores (AIA, 2019). Actualmente, México cuenta con pocas legislaciones y certificaciones aplicables dentro de este horizonte, donde podemos señalar a NOM (Normas Oficiales Mexicanas) y NMX (Norma Mexicana), como referencia la NOM-025-STPS-2008 (Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo), NOM-020-ENER-2011 (Eficiencia Energética en Edificaciones) y la NMX-C-527-1-ONNCCE-2017 (Industria de la Construcción-Modelado de Información de la Construcción), la primera una norma aplicable a espacios de trabajo, la segunda, viene acompañada de una aplicación por parte del Gobierno Federal para el cálculo termo energético,

la cual tiene aún aspectos por corregir y aplicable solamente a edificaciones tipo vivienda, no obstante, sin una visualización personalizada de los espacios donde se realizan las simulaciones y la última, encaminada a implementar *BIM* en México como un elemento de plan de ejecución para proyectos.

A su vez, se espera que la automatización de proyectos arquitectónicos sea ejecutada por programas y aplicaciones basados en algoritmos evolutivos, y mediante esto, permita permear el diseño arquitectónico desde las etapas tempranas del mismo (Ravenscroft, 2019), al atender múltiples aspectos a la vez, entre estos, aquellos relacionados con la independencia lumínica al interior de los distintos espacios y el uso de elementos pasivos en fachada, al permitir una aportación de múltiples beneficios para los usuarios y el inmueble en general, sobre todo, si estos son basados en estándares internacionales y fortalecidos con las reglamentaciones nacionales y locales.

En este tenor, facilitar los procesos de protecciones pasivas mediante la aplicación de envolventes arquitectónicos, basados en sistemas constructivos modulares que permitan tener la máxima iluminación natural al interior de los espacios, pero que esta no se vea afectada por la radiación solar directa o bien, por el deslumbramiento o *Glare*¹ en los espacios o superficies con acabados reflectantes que puedan hacer difícil el desarrollo de actividades en espacios de trabajo, recreativos o habitacionales.

¹ Se utilizará preferentemente el termino Glare, ya que este es como se utiliza generalmente en la documentación especializada que se consultó para esta investigación.

1.3. PERTINENCIA

En la actualidad existe un déficit en el rendimiento energético dentro las edificaciones, principalmente en aquellas diseñadas antes del año 2000, esto se debe en gran parte a los procesos de diseño, los cuales son basados en una función estética, las cuales dependen de tendencias que definen el estilo o formato de trabajo de la persona que diseña o modela el inmueble y deja de lado aquellos aspectos que faciliten una optimización de recursos naturales dentro de los espacios habitables, sin contemplar aquellos elementos arquitectónicos de formato pasivo, que logre mejorar la estética y funcionalidad mediante la implementación de envolventes arquitectónicos a partir de la implementación de algoritmos basados en diseño generativo que consigan ser parametrizados con el apoyo en conjunto de aplicaciones especializadas para el desarrollo y simulación de afectaciones térmicas, energéticas y lumínicas en una edificación (Azhar et al., 2011; Chen y Nguyen, 2017; Solla et al., 2019).

Al incorporar una metodología completa dentro del ámbito de trabajo del diseñador en México y aquellos países en Latinoamérica que inician la implementación de *BIM*, permiten el uso e integración de distintos formatos dentro de sus modelos de diseño, construcción y edificación, incorporando herramientas complementarias de código abierto desarrolladas por terceros que admitan una integración de estudios y diseño, que pueden ser conjugadas con programas de cómputo especializados para obtener resultados distintos con elementos integrados en los programas como *Revit Architecture* y *Rhinoceros 3D*.

Basado en lo anterior, se pretende la incorporación de un proceso de diseño y validación de datos mediante la interoperabilidad de archivos en programas especializados y de acceso educativo o bien, gratuito, estos permiten realizar estudios espaciales personalizados y con ello, obtener así como una mejora dentro del desarrollo de actividades al interior de los distintos espacios para nuevas edificaciones y aquellas a renovar, al tener estas que respaldarse a través de normas internacionales establecidas como *LEED*, *WELL*, *IBPSA* o *ASHRAE* las cuales buscan por ejemplo, solucionar la crisis climática ocasionada por los efectos de gas invernadero, o buscan que los espacios sean acondicionados de manera natural y mecánica con la finalidad de satisfacer el confort de los usuarios y que estas a su vez se encuentran avaladas tanto por organizaciones Norteamericanas, así como internacionales (Architecture 2030, 2009; Circle, 2013; Delos Living LLC, 2016; LEED, 2009).

A través de la incorporación de procesos de diseño automatizados y parametrizados, se obtiene una mejora constante en cualquier etapa de este que se desee integrar un análisis, en el caso de esta investigación, busca profundizar en aquellos de iluminación natural constante durante toda la jornada de uso del espacio y lograr un confort lumínico al interior de los espacios de un inmueble en fase de diseño, mediante simulaciones que permitan visualizar la afectación o mejora en los espacios seleccionados, o bien, aquellos construidos, buscando encontrar una mejora constante con herramientas cotidianas, sin necesidad de utilizar programas de licenciamiento costosos. No obstante, la implementación de reglamentos y normativas no llega a ser suficiente, pues existen elementos fuera de consideración dentro del diseño de espacios, al ser aquellas restricciones embebidas por la ubicación geográfica de cada inmueble, de los cuales destaca la orientación, falta del dimensionamiento óptimo en relación de muro a ventana para la iluminación natural, mínimo de iluminación natural para el desarrollo de actividades de forma óptima que se apeguen a un reglamento, normatividad o especificaciones, protección sobre el deslumbramiento directo dentro de los espacios de trabajo, ganancia de temperatura por exposición directa a los rayos solares, entre otros.

Para ello, se presenta la necesidad del manejo constante de información adicional, y con ello, la implementación de sistemas de análisis para el desarrollo información especializada proveniente de archivos climáticos, los cuales proveen de información específica para ser implementada por programas de cómputo especializados, y las distintas funciones que estos realizan, los cuales pueden ser mimetizados mediante la aplicación de algoritmos desarrollados a partir de programación visual y hacer uso de nodos especializados aplicables para las plataformas de *Dynamo* y *Grasshopper*, con ello, la obtención de aquellos datos relacionados con la iluminación por mes, día, hora y que permitan fortalecer los criterios de diseño relacionados con la optimización de recursos tales como tiempo y conocimientos (Mackey y Roudsari, 2018), aprovechando el uso de plataformas desarrolladas por terceros, o aquellos desarrollados de manera individual, a manera complementaria por medio de un modelo aplicable a la tecnología *BIM*.

En la actualidad, esto se puede ver reflejado en los usuarios, despacho arquitectónico o investigador que no cuente con elementos e información necesaria para desarrollar nuevos procesos de diseño, investigación, o construcción en la arquitectura, se enfrentará con una brecha

de conocimiento en los avances y actualizaciones de aquellas herramientas que permitan facilitar su trabajo, tales como programas para modelado 3D, simulaciones termo-energéticas, simulación lumínica, de comportamiento estructural, entre otras, pues, sin importar la región, los procesos de interoperabilidad son cada vez más estrechos debido a la implementación de programas de cómputo especializado del tipo *BIM* (Hardin y McCool, 2015).

Si bien, la implementación de *BIM* en México es reciente, en la Figura 1 se observa que los datos obtenidos de la plataforma de *Google Trends*, dentro de la gráfica lineal el comportamiento de la búsqueda de programas especializados como *Revit* y *ArchiCAD*, a diferencia de Norteamérica donde se introdujo desde mediados de la primera década del 2000 o Latinoamérica, y desde hace 8 años se han integrado y consolidado normativas para establecer las primeras etapas de incorporación de dicha metodología, incluso décadas se realiza una comparativa con la Unión Europea, específicamente Reino Unido y Noruega (Kensek y Noble, 2014). Debido al contraste en la cronología de la implementación de *BIM* en México, se puede apreciar una discrepancia notable entre el desarrollo de los procesos de diseño y documentación utilizando la metodología antes mencionada, de los períodos anteriores a *BIM* desde las etapas tempranas de diseño o en aquellos elementos de ediciones con base en los activos construidos.

Figura 1

Comparativo de búsqueda de los programas más populares en el mercado mexicano para *BIM*.



Nota. Datos obtenidos mediante la búsqueda de *Google Trends* en México, muestra un incremento de búsqueda del Software *Revit Architecture* contra *ArchiCAD* de *Graphisoft* durante el periodo 2004 – 2021. Actualizado el 8 de abril de 2021.

Por consiguiente, la presente investigación elabora un método aplicable a los procesos que brindan apoyo en las etapas del diseño, específicamente a la optimización del diseño lumínico ambiental a través de la implementación *BIM* en conjunto de la programación visual, con el objetivo de facilitar los procesos del diseño en las distintas fases de la construcción, realizados mediante algoritmos o *Scripts* (Hardin y McCool, 2015; Harding y Shepherd, 2017), a la vez, que se apoye con elementos de programación de código para optimizar referencias y aplicación de datos obtenidos directamente del software de diseño y visualización, con lo cual se podrán potencializar notablemente los flujos de trabajo (Negendahl, 2015; Peters, 2018) al hacer uso de funciones vectoriales dentro de programas tipo CAD especializados en modelado 3D y formatos interoperables que permitan la aplicación de elementos basados en diseño generativo supervisado y optimizado por medio de distintas iteraciones de trabajo.

1.4. RELEVANCIA

Dentro del seguimiento al planteamiento inicial, se pretende encontrar un método de trabajo replicable que sirva como base para aquellos que busquen el desarrollo de elementos fuera de una postura convencional desarrollada en *CAD*, implementando procesos de diseño no lineal interdisciplinario, comunicando los procesos a partir de un modelo centralizado como en la metodología *BIM*, optimizado a partir de aquellos procesos virtuales y digitales que estén al alcance de usuarios, sin importar la disciplina, categoría o función que desarrollen.

Esto ocasiona pérdidas económicas, retrasos en los procesos de diseño, costos y tiempos de construcción, entre otros, es decir, una detección no oportuna de errores e imprevistos, puede generar mayores conflictos de los que puede solucionar. Dentro de la metodología *BIM*, estos son revisados de manera constante, mediante la implementación de procedimientos denominados *Clash Detection*. Esto representa uno de los beneficios que se encuentran al trabajar con el formato *BIM*, ya que su correcta implementación le convierte en *BEP* (*BIM Execution Plan por sus siglas en inglés*) como muestra la Figura 2, donde se aprecian los procesos que están involucrados y que posteriormente puede modificarse a *BPA* (*Building Performance Analysis por sus siglas en inglés*) (Azhar, 2011; BSI, 2020; Kensek y Noble, 2014; Matarneh et al., 2019; Smith, 2007).

Figura 2
Alcances y características de BIM EXECUTION PLAN



Procedimiento de Plan de Ejecución BIM, también llamado BEP.

Nota. Procedimiento tradicional que se puede encontrar dentro de un plan de ejecución BIM. Diagrama basado en Mordue et al., (2016).

En este tenor, uno de los elementos a investigar, encuentra una relación entre el tipo de herramientas y aplicaciones respecto a los temas relacionados con simulación y desempeño de inmuebles y edificaciones (Hensen y Lamberts, 2011), ya que el uso de este tipo de elementos no se enfoca en identificar o corregir el error humano (Quek y Jakubiec, 2019), buscando focalizar en los siguientes puntos:

- Iluminación.
- Confort lumínico.
- Asoleamiento.
- Deslumbramiento.
- Estudio de sombras en fachadas.
- Envolverte arquitectónica.

A la vez, se busca el desarrollo de un estudio de sombras en espacios interiores, estudio de sombras en espacios exteriores, simplificándolos en el término lumínico, con la finalidad de interpolar distintas mediciones de manera visual y obtener datos que pueda ser graficados para realizar comparativas y una búsqueda de mejores alternativas de diseño, a través de la implementación modelos de trabajo basados en la interoperabilidad de programas

especializados mediante ejecuciones específicas desarrolladas para *Revit Architecture* y *Rhinoceros 3D* (Anbouhi et al., 2016; Olawumi et al., 2018).

Otro de los elementos que deben ser considerados, son aquellos los requerimientos generales en los que se basa y sustenta el presente trabajo de investigación, el cual enfoca su objeto de estudio en la optimización de recursos naturales y procesos mediante tres pilares principales; modelado tridimensional de alta especialidad, iluminación y diseño generativo por medio de programación visual, al obtener como resultado final, un modelo que permee dentro de la metodología de trabajo establecidas por la *AIA 2030 DDX (Design Data Exchange por sus siglas en inglés)*, tomando como objetivo principal la integración al proyecto por medio de BEM (*Building Energy Modeling por sus siglas en inglés*) y con ello poder influenciar el consumo de energía del edificio basado en la tarea de la AIA 2030 que considera que para esta fecha los edificios serán sustentables (Architecture 2030, 2014) y del estándar 90.1– 2007 y la 209-2018 de la ASHRAE para edificios por medio de la aplicación de sus productos y educación continua a los profesionistas de especialidad en *HVAC (Heating, ventilation and air conditioning por sus siglas en inglés)* (Clevenger y Haymaker, 2011; Dekay y Brown, 2014; Hemsath y Bandhosseini, 2017).

Por último, dentro de los puntos relevantes de la presente investigación, se encuentran aquellos relacionados con los objetivos de desarrollo sostenible, de La Agenda para el Desarrollo Sostenible de la ONU (ONU, 2020), y obtener una incidencia en los puntos 3, 7, 9 11 y 13 como se puede apreciar en la Figura 3, los cuales van desde la salud, bienestar, así como acciones que están orientadas a la optimización de energías limpias y no contaminantes, innovación en la industria, elementos sostenibles y sustentables para las ciudades y las edificaciones, y aquellos que involucran directamente acciones por el clima.

Figura 3
Puntos relevantes de La Agenda para el Desarrollo Sostenible



Nota: La figura muestra aquellos objetivos donde puede tener injerencia dentro de la presente investigación.

1.5. ANTECEDENTES

Dentro de los antecedentes generales aplicables a esta investigación, se atendieron las dos distintas vertientes más significativas dentro de los temas atendidos e investigados, una de ellas está relacionada a los estudios de iluminación, de los cuales se pueden mencionar dos aspectos, primero aquellos relacionados con un carácter análogo y posterior a estos, aquellos relacionados con los formatos digitales, estos relativamente nuevos y que siguen bajo una mejora continua. Dentro de los primeros estudios, están todos los elementos relacionados con el estudio de la iluminación natural, los cuales se realizaban por medio de una serie de dibujos que interpretaban las posibles trayectorias en una geometría, estos se tornaban complejos si la volumetría contaba con superficies de tipo orgánico y no ortogonales.

Posterior a ello, los formatos modernos estaban basados en un estudio documentado de un modelo arquitectónico a escala, los estudios se realizaban mediante la captura de diversas

fotografías donde intervenía la ayuda de dispositivos como el heliodón, posterior a esto, dentro de las primeras interpretaciones digitales de modelos computacionales, estos eran corroboradas mediante el proceso de heliodón y modelo digital, Sharples y Bougdah, en *Environment, Technology and Sustainability* (2010) muestran uno de los primeros acercamiento holístico en a la interpretación e influencia para el desarrollo de estudios de iluminación, deslumbramiento, confort visual y temperatura, realizando una propuesta en el cruce de la información de la ganancia térmica solar e iluminación.

Otro de los antecedentes, se basa en los principios para el diseño solar aplicable al clima, estos a su vez, basados en la información del libro de Norbert Lechner (2009), *Heating, Cooling, Lighting*, dentro del cual se expone el uso de herramientas como el Heliodón dentro de las etapas tempranas, no obstante, Sharples y Bougdah (2010) explican que existen métodos alternos para realizar los estudios de iluminación y que estos pueden ser replicados por programas de cómputo CAD, los cuales pueden contener un compendio de aplicaciones para obtener desde una proyección específica de sombras, así como un análisis de radiación solar sobre espacios y/o superficies, llegando a generar distintos renders o imágenes básicas que expresaban la reflectancia de la iluminación sobre distintas superficies en condiciones específicas para recrear una simulación de un espacio o una habitación.

Por su parte, Gagne y Andersen en el artículo de nombre *A generative façade design method based on daylighting performance goals* (2012) realizan una de las primeras propuestas de diseño generativo para la optimización lumínica y hacer uso de una aplicación programable (API) utilizando el lenguaje de programación computacional *Ruby* para *Google Sketchup* se obtuvieron los primeros modelos basados en *WWR* (*Window to Wall Ratio* por sus siglas en ingles) y protección solar por medio de parasoles y protección solar esquematizados en 3D, dentro de los avances que genero Gagne y Andersen, se encuentran aquellos que simplifican los criterios para la implementación de Algoritmos Genéricos o *Generic Algorithms* (*Gas* por sus siglas en ingles) para la optimización de la iluminación directa dentro de aquellos espacios donde no se cuenta con un mecanismo de protección, explorando dispositivos de sombra la reducción de la iluminancia o destello directo sobre una superficie específica y con ello, una de las primeras aplicaciones favorables de un sistema de diseño generativo.

A su vez Hastings y Wall, *Sustainable solar housing: Volume 1 - Strategies and solutions* (2013) realizaron la propuesta de los porcentajes para *WWR*, implementando el uso de imágenes básicas con renders generados mediante la implementación de programas de cómputo especializados, entre estos *Autodesk Ecotect Analysis* y *Radiance*, estos son de los primeros programas con los que se logró la exploración de distintos porcentajes aplicables a ejemplos de ventanas y puertas de cristal, aplicables a distintas orientaciones simultaneas y combinación de la misma, dentro de los resultados obtenidos, se muestra una mezcla de imágenes que permiten observar la cantidad de iluminación espacial y su comparativa gráfica en unidades lux, y tener a su vez, una referencia de cómo las superficies pueden impactar en el espacio, la iluminación y el deslumbramiento o *Glare*, provocado por la absorción de colores, texturas y elementos que pueda encontrarse en el espacio.

En este mismo contexto, no es hasta que Roudsari dentro de la publicación; *Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design* (2013) que se introduce la primera propuesta de Ladybug como un elemento para validar simulaciones energéticas y de iluminación gracias a la aplicación del lenguaje compartido de software especializado como *Energy Plus*, *Radiance* y *Daysim* dentro del entorno del software *Rhinoceros 3D* y su extensión *Grasshopper*, y dar una aproximación a usuarios no especializados para obtener mejores resultados en la toma de decisiones al momento de realizar propuestas de diseño en distintas escalas y etapas del mismo, dentro de las ventajas que presentan las herramientas de *LadybugTools*, es el ecosistema de aplicaciones para el desarrollo de elementos especializados, al ser el caso específico para esta investigación, aquellos que están relacionados con el ámbito lumínico ambiental, mostrar una ventaja sobre software especializado como *Heliotrope*, *Geco*, *Gerilla* y mantener una similitud con *Diva for Rhino*.

Dentro de las exploraciones comparativas forman entre elementos de interoperabilidad *BIM* en distintos formatos, en específico en aquellos estudios de simulación y análisis lumínico por parte de Kota en el artículo: *Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis* (2014) el cual propone una ruta para exportar un archivo nativo en *Revit Architecture* a formato *CAD* para ser explorado en software como *AutoCAD*, *Rhinoceros 3D* con la aplicación de *DIVA* y a su vez *Ecotect Analysis*, buscar la interoperabilidad integre los distintos elementos

generados dentro de *Revit* a *Radiance* para obtener simulaciones mediante una aplicación llamada *Revit2Radiance*, la cual quedó como prototipo de *Revit Architecture*, no obstante, bajo las actualizaciones en la programación interna del *API* de *Revit Architecture* y aplicaciones cercanas al mismo, deja obsoletos algunos de los pasos dentro del proceso y otros pueden ser subsanados con aplicaciones como *Elefront* para *Grasshopper*, permitir conservar los *ID's*² de cada elemento desarrollado dentro del ambiente de *Revit Architecture*.

Dentro de este contexto, Chen dentro de su investigación *Optimising window design on residential building facades by considering heat transfer and natural lighting in nontropical regions of Australia* (2020) realiza una de las primeras publicaciones que integran a *Revit Architecture* y su extensión *Dynamo* para el análisis lumínico utilizar los algoritmos tipo *NSGA-II* para la optimización de resultados mediante el paquete de *Optimo* para *Dynamo* y la codificación vía *Codeblock* y *Python*, no obstante, la aplicación de esta metodología deja de ser posible ya que las actualizaciones constantes de la *API* de *Revit* y *Dynamo*, ponen en riesgo la implementación de paquetes con bajo mantenimiento por parte de los desarrolladores no especializados, ser este el caso de la paquetería de *Optimo*, en 2018, muchos de los paquetes y aplicaciones desarrolladas por usuarios no especializados en informática, desistieron de seguir con la actualización de las paqueterías que venían desarrollados tiempo atrás (Williams, 2018).

Actualmente, los estudios realizados por Lee *Assessment of control strategy of adaptive façades for heating, cooling, lighting energy conservation and glare prevention* (2021) muestran una integración más completa por medio de la implementación de elementos de energía e iluminación en el entorno de fachadas con doble piel y dispositivos especializados para proyección de sombras, estos toman en cuenta los elementos de prevención de deslumbramiento al usuario, conservación de energía y protección solar al interior mediante el uso de mecanismos que proporcionan sombra e iluminación indirecta, dentro del estudio, Lee (2021) analiza el desempeño en más de 20 ejemplos de protección en fachada, el cual involucra tipo de dispositivo, rango de protección, variables, aplicación directa del algoritmo, herramienta de evaluación, tipo de edificio y su ubicación geográfica, dentro de las conclusiones de dicho estudio, se realiza la

² Código de identificación único por elemento.

propuesta de que los dispositivos para fachada, deben realizar un propósito multifuncional, proporcionar un control de iluminación, sombra, deslumbramiento y estos deben brindar un confort visual al usuario, considerar el no diseñar dispositivos que cierran totalmente el espacio con sombra.

Como ejemplo de la necesidad de este tipo de herramientas tenemos el trabajo de investigación de Frigerio (2020) Evaluación de iluminación natural, con base a orientación en espacios interiores. Caso de estudio : vivienda en fraccionamiento de clase media en Saltillo, para la metodología de trabajo e interpretación de datos se basa en la escuela colombiana de ingeniería (2008) y la plataforma *Earchtech.ec*, esto puede ser interpretado como una falta de conocimiento y difusión de otros estándares nacionales o internacionales que pueden ser aplicados a los trabajos de simulación lumínico en relación a un análisis de elementos digitales y o virtuales en el área académica, sobre todo en nuestro país, donde un gran número de estándares y reglamentos son basados en los de instituciones Norteamericanas y/o Europeas.

A su vez, bajo la búsqueda de un contexto transfronterizo y aplicable a proyectos internacionales dada a su cercanía con Estados Unidos, esta investigación recurre a distintos recursos los cuales están basados en estándares de instituciones como la *AIA*, *ASHRAE* e *IPBSA* de dicho país, o la implementación reciente del *ISO 19650*, ser esta una evolución de la *PAS-1192 (Publicly Available Specifications* por sus siglas en inglés) *de la NBS (National BIM Standar* por sus siglas en inglés) *y RIBA (Royal Institute of British Architecture* por sus siglas en inglés) y la *BSI (British Standards Institution* por sus siglas en ingles).

Primero se generaron un par de un par de preguntas sencillas para identificar los elementos que componen esta investigación, dentro de ellas, las siguientes se pueden percibir como las más importantes, entre ellas:

- ¿Qué es *BIM*?
- ¿Qué es programación visual?
- ¿Qué es el diseño lumínico?
- ¿Qué son los algoritmos generativos?
- y ¿por qué su importancia en la actualidad?

Existen distintas definiciones para los formatos de trabajo *BIM*, una de las más aceptadas por la comunidad internacional fue definida por *PAS 1192-2:2013* como *Building Information Modelling*. La cual indica que *BIM* forma parte de un proceso de diseño, construcción u operación de un edificio o activo de infraestructura utilizar la información electrónica orientada a objetos (Smith, 2007), mediante este, se pueden realizar construcciones virtuales, también conocidas como *VCD* (*Virtual Design Construction por sus siglas en inglés*), documentación completa de un inmueble a nivel específico de detalle para construcción y fabricación manual, mecánica o digital, y tiene correlación con otros programas que no tengan la capacidad *BIM* (Malina, 2013) ,ser estos de índole *CAD*, costos y programación de obra, así como distintos simuladores virtuales, ser estos, para mecánica de fluidos o *CFD*, estructurales, mecánicas, plomería, electricidad, por mencionar las disciplinas que convergen dentro de la metodología de trabajo *BIM*.

Kensek y Noble, (2014) señalan que dentro de la metodología de trabajo *BIM*, la representación en 3D de un proyecto se debe entender como un conjunto de información albergada dentro de un modelo, entre los más destacables; ubicación geográfica, materiales de piso, envolventes y cubierta, características físicas, térmicas y estéticas de los materiales, nomenclaturas, componentes, etc. que alcance a generar toda la información del modelo y que, posteriormente, esta pueda ser implementada y utilizada por otras disciplinas que deban intervenir para el desarrollo y construcción del modelo.

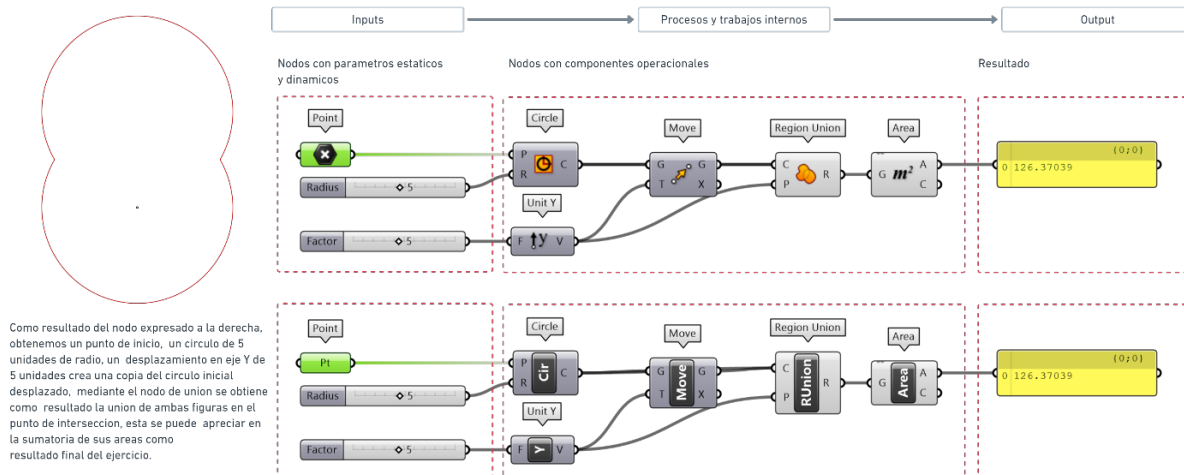
Por otro lado, tenemos también *BEM* (*Building Energy Modeling* por sus siglas en inglés), este pasa ser un término general implementado por muchos programas y aplicaciones complementarias que sirven como apoyo para la simulación energética de una edificación, estas pueden ir desde cargas térmicas, confort térmico, aire acondicionado o calefacción, iluminación, etc., cabe mencionar que estas simulaciones pueden llegar a ser de lo más sencillas a lo más complejas. La información puede ser representada mediante tablas que señalan los resultados de manera numérica, así como una representación tridimensional con variaciones y/o combinación de colores para su mejor comprensión, bajo ciertos criterios de los modelos de simulación *BEM*, se desarrollarán los elementos de análisis lumínico para este trabajo de investigación que posteriormente serán reforzados para su mejor comprensión y entendimiento.

A su vez, tanto para gestión de datos como para simulaciones especializadas y modelados dinámicos, se implementa el uso de distintos niveles para interpretación de un objeto, pieza o componente por medio de distintos niveles de detalle o *LOD* (*Level Of Development* por sus siglas en inglés), estas pueden variar depender de las especificaciones de una empresa de manufactura y productividad de diseño, involucrar a su vez estándares internacionales *IFC* (*International Finance Corporation* por sus siglas en inglés) o consideraciones tipo *OSC* (*Off Site Constructions* por sus siglas en inglés) las cuales pueden aumentar hasta llegar a un proceso *As Is* (Eadie et al., 2013; Yin et al., 2019).

Otro de los puntos importantes que atiende esta investigación hace referencia a la programación visual y el diseño generativo, la forma sencilla de explicar estos procesos, sería que ambos forman parte de es un conjunto de herramientas en función de un listado de tareas especializadas y repetitivas basadas en algoritmos, los cuales pueden ser utilizados por una persona sin especialidad en la programación de software, ya que trae predeterminadas funciones y paqueterías específicas o complementarias para que el usuario pueda utilizarlas sin necesidad de conocer el cómo fueron elaborados y desarrollados, o bien, una serie de tareas desarrolladas por una persona con amplios conocimientos en lenguaje de programación que permiten el desarrollo de funciones repetitivas en una forma sencilla y ordenada, para optimizar tiempos al momento de desarrollar un proyecto o tarea de diseño (Wortmann y Tunçer, 2017).

La Figura 4 muestra un ejemplo basado en lenguaje de programación visual aplicado a *Grasshopper* y mediante este ejemplo, podemos entender como *Lenguaje de programación visual o VPL (Visual Programming Language por sus siglas en inglés)* o lenguaje de programación visual, como un sistema de diseño basado en nodos, cables, aplicaciones y datos que desarrolla un diagrama sencillo o complicado, según los resultados que se busquen obtener, poder obtener estos una combinación de elementos gráficos y un diálogo de edición de textos que permitan acceso a funciones avanzadas (Tedeschi, 2014).

Figura 4
Proceso de elaboración de geometría en *Grasshopper*



Nota. Ejemplo de elaboración de geometría básica mediante *Rhinoceros Grasshopper*, a la izquierda se puede apreciar la figura final, a la derecha, podemos apreciar los nodos, el proceso, conexiones y resultado para llegar a la figura, la imagen a su vez, muestra los nodos de manera escrita e iconográfica. elaboración propia.

Otro de los aspectos importantes a realizar dentro de esta investigación, está relacionado con aspectos de Interoperabilidad, la Figura 5 muestra una parte parcial de un ecosistema de programas ligados la metodología *BIM*, los procesos para compartir información entre uno o varios programas *BIM* preferentemente se encuentran relacionados con diseño arquitectónico, no obstante, la interoperabilidad es uno de los formatos con mayor dificultades de aplicar, incluso dentro de los programas con archivos o modelos 3D tipo *BIM*, es por ello que es recurrente el usar archivos *.dwg*, *.dxf*, *.sat*, *.acis*, incluso *.obj* para enviar información de un software a otro

Figura 5
Ecosistema de interoperabilidad BIM



Nota. Imagen recuperada el 8 de julio de 2021, <https://parametricmonkey.com/2016/06/20/bim-ecosystem/comment-page-1/>

³ Sistemas BIM neutros, que facilitan la colaboración mediante información embebida en el modelo y no en un programa en específico.

Figura 6
Línea del tiempo en el desarrollo de la metodología BIM.



24

de proyecto integrados, mientras que *Autodesk* y *Vectorworks* usaron *Building Information Modeling* (Wintour, 2018), la Tabla 1 nos muestra los programas de mayor uso comercial, así como sus propiedades generales.

Tabla 1
Programas BIM en el mercado actual.

Programa de computo	Propiedades generales del programa
Bentley Architecture	Funciones principales
	Tipo de aplicaciones
	Objetos básicos
	Funcionalidad paramétrica
	Formato de exportación
	Formato de importación
	Interfaz de programación
ArchiCAD	Funciones principales
	Tipo de aplicaciones
	Objetos básicos
	Funcionalidad paramétrica
	Formato de exportación
	Formato de importación
	Interfaz de programación
Revit Building	Funciones principales
	Tipo de aplicaciones
	Objetos básicos
	Funcionalidad paramétrica
	Formato de exportación
	Formato de importación
	Interfaz de programación

Nota. La tabla muestra un comparativo de los programas que hacen uso de la metodología BIM y que son de mayor uso en el mercado actual. Elaboración propia, basado en los datos de BSI.

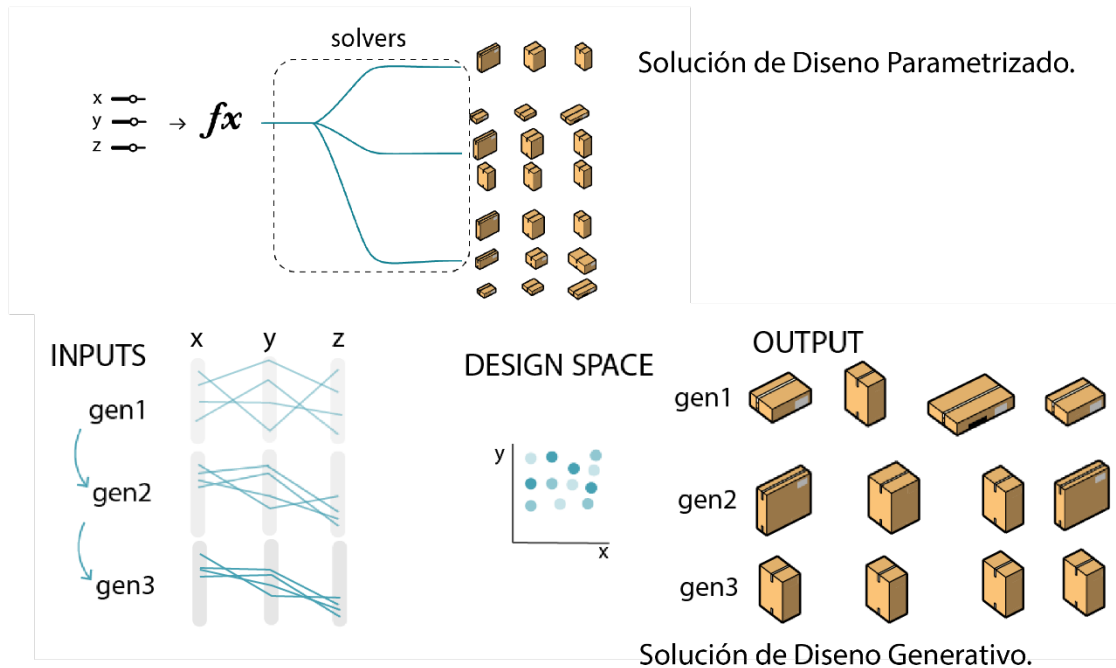
En América Latina y Norteamérica, el software con mayor popularidad es *Revit Architecture* como opción principal para *BIM* hoy en día que a su vez cuenta con el apoyo de la aplicación interna de *Dynamo*, por su parte, *Rhinoceros 3D* es implementado principalmente para los procesos de *CAD* y *CAM*, por sus capacidades de interacción en el diseño vectorial y edición de gráficos implementado algoritmos visuales, esto gracias a su aplicación *Grasshopper*, no

obstante, existen otros programas vectoriales y *BIM* que son utilizados por el mercado antes mencionado, al ser estos *AutoCAD* de *Autodesk* y *Sketchup* de *Tremble* en el área de dibujo vectorial para la elaboración de planos y objetos 3D, y por otro lado, *Vectorworks*, *Allplan* y *ArchiCAD* para los procesos *BIM*.

Otro de los objetos de estudio dentro de esta investigación, es el diseño y los procesos de producción mediante el uso de algoritmos evolutivos, basado en scripts de fabricación de línea, códigos y matrices evolutivas. De manera que, para poder hacer uso de estos recursos, debemos recurrir a la computación gráfica o *Computer Graphics* (Terzidis, 2006), la visualización de datos, los esquemas de interfaz humana, la programación en código y las metodologías mixtas de construcción y diseño, son un proceso poco explotado en nuestro país, pero que día a día se empieza a instrumentar en instituciones alrededor del mundo; es decir, es poca la teoría desarrollada o la implementación de dichos recursos desde las instituciones educativas (El-Diraby et al., 2017; Gallopín, 2018; Wortmann y Tunçer, 2017).

Mccormack (2004) define al diseño generativo como la exploración del principio de generar formas y patrones a partir de una simple especificación. Dentro del modelado generativo pasa a ser una integración dentro de un programa de cómputo especializado, que hace uso de herramientas y/o aplicaciones para realizar diseño generativo. Este último, al hacer uso de una serie de intervenciones y procedimientos que proporciona un grado de autonomía al modelo para ser ejecutado según un número finito o infinito de iteraciones que pueda proporcionar el modelador, así como las reglas de compromiso que existan para limitar las acciones del *script* a implementar, dejar así, consideraciones para que el sistema del modelo generativo se vuelva abierto o con limitaciones desde un inicio, un ejemplo de este se muestra en la Figura 7 donde se implementó diseño generativo para una torre y la afectación de la sombra en predios colindantes.

Figura 7
Ejemplo de aplicación de diseño paramétrico y generativo.



Nota. Las imágenes de la Figura 7 fueron recuperadas del primer de diseño generativo para Revit (Autodesk, 2021a).

Existen distintos tipos de lenguajes de programación de texto como se muestra en la Tabla 2, estos son implementados a través de aplicaciones o programas auxiliares llamados *middleware*, los cuales son desarrollados por un solo autor o un conjunto de autores (Kamel y Memari, 2019), para esta investigación se utilizará *Python*, ya que este lenguaje permite realizar una programación orientada en el objeto, esta una metodología de programación que separa la distinta información contenida dentro de los elementos por medio de un método lógico de manejo de datos dentro de una aplicación o base de datos (Andriamamonjy et al., 2018; El-Diraby et al., 2017) .

Tabla 2

Lenguajes utilizados para desarrollar funciones dentro de programas especializados.

<i>Lenguaje</i>	<i>Descripción</i>
<i>PHP</i>	Lenguaje de programación de código abierto, enfocado para el desarrollo web.
<i>Java</i>	Lenguaje de programación orientado a objetos que destaca por ser multiplataforma
<i>Python</i>	Lenguaje de programación versátil de código abierto, utilizado para inteligencia artificial y el Big.
<i>C/C++</i>	Lenguaje de programación utilizado en la programación web.
<i>C# y Visual Basic</i>	Lenguajes de programación orientados a objetos de Microsoft que utilizan su framework.net.

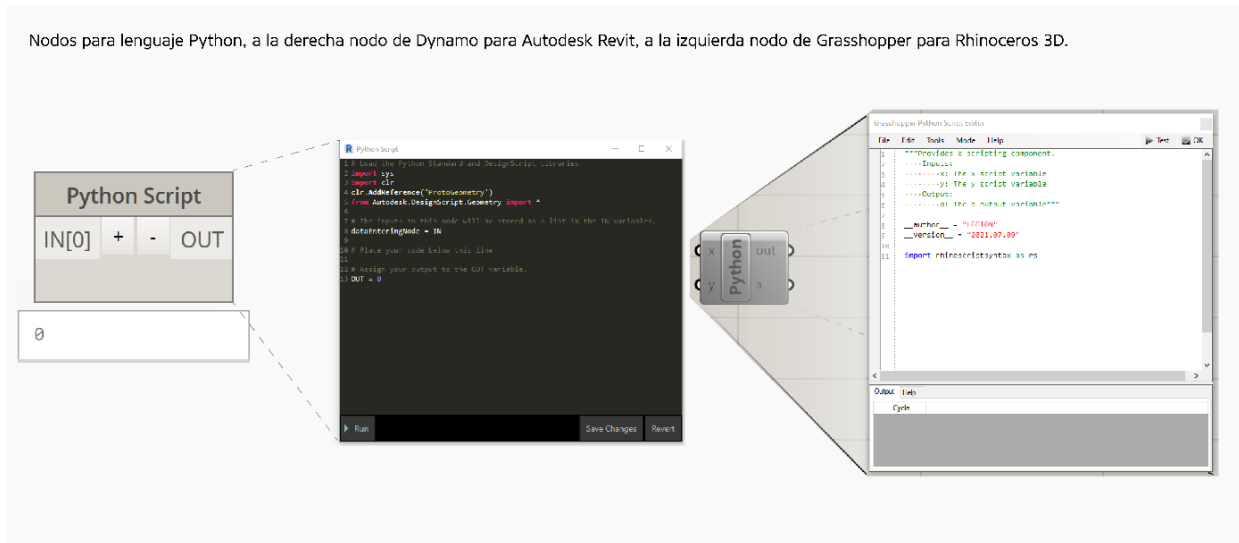
Nota. Los lenguajes más utilizados para desarrollar funciones dentro de programas especializados o plataformas especializadas relacionadas con simulaciones y almacenamiento de datos.

Nota. Basado en GeeksforGeeks (2020) y Techbeacon (2021) Elaboración propia.

Para un control sobre los procesos y líneas de código, se procedió a realizar una programación en nodos con funciones internas en lenguaje *Python* para *Dynamo* y *Grasshopper* respectivamente como podemos observar en la Figura 8, elaborar funciones específicas que logren ser replicadas posteriormente, cuya información interna se conservan, esto independiente a la versión del programa en uso y sus respectivas actualizaciones, las cuales pueda funcionar en dos vías utilizar *Rhino.Inside Revit*, el cual es un formato *open source* que permite la interacción de *Rhinoceros 3D* y *Grasshopper* dentro de programas como *Revit Architecture* y *AutoCAD*, al tener un sistema de arranque tipo *.dll* en los programas antes mencionados y comportándose como una aplicación *Add-In* (McNeel, 2018).

Esto permite una ejecución del programa de *Rhinoceros 3D* de manera directa desde *Revit* y con ello, correr de manera nativa todo tipo de información relevante a *Grasshopper*, ejecutándose de manera independiente como una aplicación dentro del programa. Posteriormente para la programación de diseño conceptual de los dispositivos de control de iluminación exterior, se integrará la aplicación de *Galapagos* para *Grasshopper*, esto con la finalidad de que, al ser replicado cualquier tipo de experimento, el usuario pueda utilizar los nodos *out of the box* como se había mencionado anteriormente en la introducción.

Figura 8
Comparativo de lenguaje Python para Dynamo y Grasshopper.



Nota. En esta figura se observan los nodos que pueden hospedar el lenguaje *Python*, a la izquierda *Python Script* para *Dynamo*, a la derecha nodo *Python* para *Grasshopper*, elaboración propia.

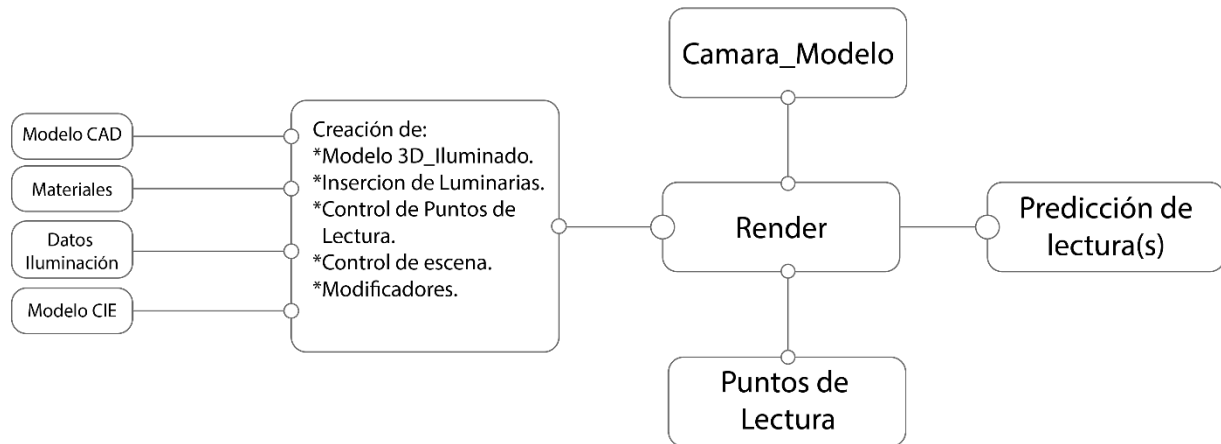
Además, por la naturaleza de este proyecto, se requerirá procesar distintos tipos de archivos con propósitos de realizar una simulaciones de modelos energéticos o *BEM* (*Buiding Energy Model* por sus siglas en inglés), los cuales serán almacenados en formatos tipo *.dyn*, *.gh*, *.rte*, *.3dm*, *.epw* y *.csv*, estas las extensiones de los programas de cómputo implementados dentro de este trabajo de investigación, es decir, con la finalidad de proporcionar interoperabilidad con otras aplicaciones existentes en el mercado, los archivos desarrollados dentro de *Revit Architecture* cuentan con todas las características necesarias para poder ser exportados con extensión de lectura *gbXML* para poder buscar una validación con *Desing Builder* o con *Autodesk Insight*, ambos programas especializados para la interpretación de datos de estudios de rendimiento energéticos, no obstante, estos programas fueron descartados de los procesos de esta investigación por utilizar un licenciamiento de cobro.

La Figura 9 indica el proceso general de aquellos elementos considerados para la elaboración de una simulación mediante el proceso de un render, esta se basa en un objeto modelado en *CAD*, el cual debe ser trasladado a un formato 3D, al cual se le agregan materiales, datos de iluminación y modelo del cielo, generar como resultado un render, el cual se puede tener

un modelo de control de cámara, puntos de lectura y basado en esto, generar una predicción de puntos de iluminación del modelo.

Figura 9

Proceso tradicional para generar modelos de simulación con iluminación natural y/o artificial.



Nota. Basado en los procesos de Li y Samuelson, (2020)

Ibem y Laryea (2014) señalan que, dentro del sector de la construcción, se ha focalizado la atención en aspectos como la interoperabilidad y seguridad; a su vez, que existen distintos tipos de tecnologías que pueden llegar a ser relevantes y que recientemente han capturado la atención de aquellos que siguen utilizar pluma y papel en mano. También destacan el uso de las nuevas tecnologías para la captura, almacenamiento, procesamiento, comunicación, visualización, sobre todo, aquellas enfocadas en la colaboración e integración de elementos que figuran en la Planificación de Recursos Empresariales (ERP) basadas en la web; Aplicaciones de software de gestión de proyectos habilitadas para la web, y las denominadas Building Information Modeling.

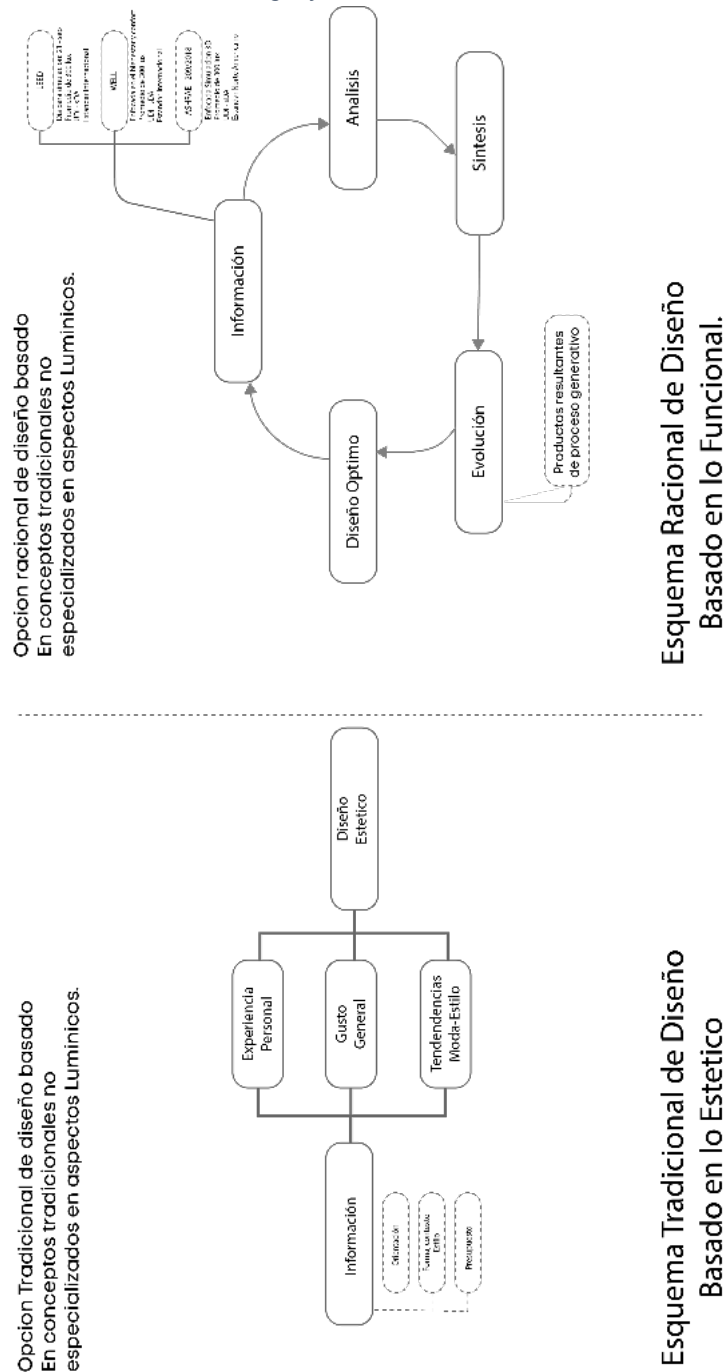
Esta última, sugiere que existe un cambio emergente de paradigma, que permite habilitar la información de los diseños de elementos constructivos para su integración en sistemas inteligentes de gestión de datos, el establecimiento de rutas críticas, la explosión de insumos o el

desarrollo paramétrico de presupuestos de obra; todo mientras se diseña y ubicado esto dentro de las distintas dimensiones integradas dentro de la metodología de trabajo y diseño en *BIM*.

Por su parte, el Gobierno Mexicano, a partir de las propuestas por parte del Poder Ejecutivo, específicamente por medio de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), la cual contempla a la academia como parte de formación para implementación y ejecución planes de trabajo, dentro de los marcos normativos para dependencias, revisión de contratos con sector privado, acuerdos con la industria y la academia, así como la capacitación de funcionarios públicos en la metodología y tecnologías ligadas a *BIM* o MIC, cuyo significado pasa a ser Modelado de la Información de la construcción por su traducción al español (SHCP, 2019), no obstante, distintas organizaciones no gubernamentales y algunas escuelas de educación superior, al reconocer el termino BIM para el desarrollo de clases o dentro de sus laboratorios de cómputo en clases especializadas, implementar la introducción de esta nueva metodología mediante el uso de herramientas digitales como lo son *Revit Architecture* o *Archicad Graphisoft*.

No obstante, muchos de estos actúan por separado, o no permiten una interoperabilidad directa sobre el diseño y/o proyecto, y obtener el formato clásico de diseño que prevalece hasta hoy en día como algo común dentro de una firma o despacho arquitectónico, como se muestra el flujo de trabajo en la Figura 10, es por ello que esta investigación, contempla a su vez el proveer los pasos para la integración de los procesos para el uso de las herramientas dentro de *Dynamo*, *Grasshopper* y a su vez permitan la integración de un diseño generativo como proceso resultante de los scripts de programación visual con la finalidad de optimizar el confort lumínico al interior de un espacio, por tal motivo, se implementará un ejemplo de un aula, la cual debe tener parámetros específicos en relación de iluminación y espacio.

Figura 10
Comparativo de diseño basado en una metodología y diseño libre.



Nota. Proceso de diseño tradicional sin una metodología se muestra a lado izquierdo en comparativa a un proceso sistematizado para el desarrollo de un análisis lumínico basado en conceptos especializados a la izquierda.

Por último, uno de los elementos que hoy en día se contemplan como parte de los requerimientos para el diseño de inmuebles y edificaciones, está relacionado con las protecciones en fachada mediante envolventes arquitectónicos que funcionen en un formato pasivo e indicar que estos pueden proporcionar al interior de espacios o bien, una protección que permita disminuir la demanda energética. Muchos de estos se basan en formatos estáticos que permiten proporcionar sombra o regular la iluminación al interior de los espacios, otros sistemas envolventes utilizan el óptimo desempeño de los materiales, y así se puede seguir enunciar los beneficios que una segunda capa o *Layer* puede traer a un edificio nuevo o en proceso de remodelación. No obstante, muchos de estos no son considerados por traer un costo adicional a los inmuebles, el cual lleva un cálculo y carga adicional al inmueble, los cuales tienen que ser desarrollados por un despacho especializado que conozca bien de los materiales a emplear y el desempeño que estos llegaran a tener a lo largo de su vida útil. Otro aspecto está relacionado con los elementos de protección, que de estar diseñados de manera óptima, proporcionan una protección que puede traer múltiples mejoras al interior de un espacio y con ello mejorar la calidad del ambiente, actividades de los usuarios y optimizar los rendimientos energéticos de las edificaciones, ya que puede traer como consecuencia el uso optimizado de la energía, tanto para iluminación, refrigeración, calefacción o aire fresco, según sean los requisitos de usuarios y condiciones del inmueble.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

“Roughly seven thousand languages are spoken in the world today, and communicating in multiple languages is becoming more and more common. In typography, using multiple languages requires handling different scripts from time to time. Learning how different scripts work, can give us some insight into how writing has developed.”

Pater, (2017)

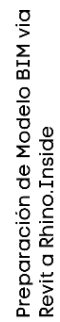
2.1. MARCO TEÓRICO

Dentro de este apartado, se desglosan todos aquellos antecedentes que dan lugar a los procesos implementados dentro de esta investigación, esto reflejado mediante los distintos programas de cómputo especializados, metodologías de trabajo, técnicas y herramientas, así como elementos de lenguaje computacional especializado a implementar, todo ello enfocado y aplicable a la tecnología *BIM*, lo cual puede ser explorado desde las etapas tempranas de diseño, pasar por la preparación de proyectos y culminar con la documentación necesaria para acreditar los diversos estándares y normativas aplicables a la optimización de recursos energéticos y naturales que tengan un beneficio para las actividades internas del usuario.

Ahora bien, las definiciones y los acrónimos utilizados e implementados dentro de esta investigación, fueron tomados de material especializado por organismos nacionales e internacionales, también se han utilizado conceptos en inglés, esto con la finalidad de no tener pérdida de su significado original o información en la traducción al español, se indicarán con un asterisco, también, algunas definiciones fueron adaptadas para su mejor comprensión y con ello, se aplicaron nuevos acrónimos que estarán indicados por un asterisco al terminar la palabra o su acrónimo:

Asimismo, la Figura 11, muestra el flujo de trabajo con una propuesta de interoperabilidad *BIM* utilizar *Revit Architecture* y *Rhinoceros 3D* para elaboración de diseño generativo implementar *Galapagos* y *LadybugTools* dentro de la aplicación de *Grasshopper*, enfatizar así como la importancia del uso de programas, aplicaciones y módulos especializados de diseño lumínico, considerar aquellas alternativas para poder desarrollar un análisis de iluminación en el espacio basados en las normativas, datos, reglamentos y estándares que pueda implementarse así como ser replicados dentro de proyectos académicos y de construcción principalmente en el entorno industrial privado gubernamental Pensar en la optimización de los recursos y herramientas disponibles, así como buscar proveer una solución de manera local y nacional como modelo de trabajo.

Propuesta de proceso de trabajo, interoperabilidad BIM.



Nota. Propuesta de proceso de trabajo, interoperabilidad BIM utilizar *Revit Architecture* y *Rhinoceros 3D*. Elaboración propia.

2.1.1. MODELADO COMPUTACIONAL

Un modelo computacional podría ser referido a la operación o conjunto de operaciones realizadas mediante un proceso digital con las que interactuamos de manera regular. La asociación explícita de computación con computadoras y procesos digitales designa una especificidad limitante que contradice la definición más general y flexible de computación como un sistema de cálculo, el cual es enfocado en muchas ocasiones para el impulso de herramientas que permitan un flujo integrado entre el desarrollo de elementos parametrizados y aquellos en formato BIM (Peters y Peters, 2018).

Daniel Davis expone un punto de vista de su trabajo desarrollado dentro de sus columnas digitales para *Architect Magazine*, este expresa que se ha vuelto inusual diseñar arquitectura sin una computadora, pero la conveniencia y la comodidad de hacer estos procesos de diseño tienen un precio. Para muchas empresas, hoy en día tienen que dedicar tiempo al desarrollo de algoritmos, scripts y complementos de software para cumplir con requisitos de estándares especializados y cumplir con los requisitos de diseños requeridos. Para facilitar y agilizar los procesos de diseño, a menudo contratan diseñadores, esperar que estos estén familiarizados con conceptos computacionales como programación y modelado paramétrico, llegar al punto de querer desarrollar edificaciones completas mediante el uso de algoritmos y complementos de diseño (Davis, 2015, 2019)

No obstante, para lograr el desarrollo con un enfoque de modelado explícitamente computacional, debe contemplar la integración de características de un modelo paramétrico dentro de su composición, el cual deberá realizar operaciones que transformen de manera constante a los distintos elementos que el modelador crea conveniente y necesario, y hacer uso de algoritmos mediante programación visual, en una búsqueda constante de un resultado distinto en cada iteración del mismo hasta obtener un resultado de diseño optimo o según los requisitos del modelo.

Igualmente, una de las aportaciones al modelo a desarrollar, será el beneficio de obtener elementos, datos y graficas para visualizar detalles sobre el rendimiento energético, mediante la aplicación de posibles estrategias para mitigar la iluminación directa, evitar el deslumbramiento directo o bien, la radiación solar directa en los usuarios, y obtener iluminación difusa en aquellos

espacios optimizados por la aplicación de envolventes arquitectónicos y protección pasiva. Cada modelo se presentará con cierta variedad en los detalles, enfocándose en primera instancia en modelos uní-zona, esto a raíz del rendimiento computacional con el cual se cuenta al momento de realizar las simulaciones dentro de esta investigación.

Al respecto de los modelos multi zona, estos pueden proporcionar de forma eficaz la predicción del comportamiento por planta arquitectónica o bien, modelo tridimensional completo. El propósito de esta investigación, se extiende a la predicción de la eficiencia de la iluminación interna en espacios de trabajo para el óptimo desempeño de las distintas actividades según sea el caso, dejar de lado aquellos los requerimientos energéticos y de iluminación artificial en las zonas o espacios antes mencionados (Passe y Battaglia, 2015).

2.1.2. *BIM* (Building Information Modeling)

En palabras de Holzer (2016), existen distintas aplicaciones especializadas dentro del entorno *BIM*, entre las más destacadas se encuentran las siguientes definiciones dentro de la Tabla 3, simplificar el contenido según su clasificación.

Tabla 3
Definiciones con mayor relevancia dentro del entorno *BIM*.

Categoría	Descripción
Programación en <i>BIM</i>	una sección poco popular es el valor que tiene la programación en todos los procesos que se llevan a cabo en el momento de hacer un plan con <i>BIM</i> . Además, la programación nos ofrece la probabilidad de personalizar las diversas herramientas que nos aporta el programa <i>BIM</i> para adaptarlas a nuestros propios procesos e intereses. Gracias a esto, por medio de la programación, si en todos los proyectos seguimos los mismos estándares, tenemos la posibilidad de automatizarlas y obtenerlas de manera instantánea, ahorrándonos una gigantesca proporción de tiempo. Dentro del programa <i>BIM</i> tenemos la posibilidad de distinguir entre 2 tipos de programación, una más clásico con código en el cual se usan idiomas como <i>C#</i> o <i>Python</i> , y otra con un ámbito de programación visual que es más intuitiva y se hace mediante programas como <i>Dynamo</i> .
Control de costos de obra	con la integración de la metodología <i>BIM</i> , se permite el cálculo de todo aquello que esté integrado dentro del modelo, dichas cuantificaciones de elementos pueden ser consideradas inmediatamente a una integración de costos debido a que la mayoría de dichos elementos cuentan con un Id único, lograr de manera instantánea identificar cantidades y ubicación dentro de cada archivo, lograr además estimar los gastos de las distintas versiones o correcciones que se vayan llevar a cabo a lo largo del plan para escoger la mejor opción dentro de las que pueda ser planteadas dentro de las distintas etapas de diseño. En base a esto el autor considera la integración de esta disciplina como una especialidad basada en la medición y el control de los costes dentro un plan, ser esta una alternativa bastante llamativa en el ámbito <i>BIM</i> .
Realidad virtual aplicada a <i>BIM</i>	por su parte, Onur y Nouban (2019) señalan que otro de los aspectos importantes dentro de las especialidades de la metodología <i>BIM</i> es que implica la generación de un modelo 3D de la infraestructura, y con ello se han abierto novedosas oportunidades en lo cual converge una representación de los inmuebles a través del uso de realidad virtual, implementar recorridos que hagan que el usuario o en este caso el cliente, pueda experimentar los espacios antes de ser contruidos, anteriormente esto solo era viable por medio de los planos o maquetas. La aplicación de la realidad virtual, puede modificar radicalmente la manera en la que se muestra un plano. Hoy en día somos capaces de hacer un recorrido virtual por la infraestructura en la que se aprecie con un elevado nivel de detalle todos sus recursos y en el futuro esto irá a más.
seguimiento y coordinación en obra	con este punto tendemos a pensar que la aplicación del <i>BIM</i> está pensada especialmente para esta etapa de plan o <i>BEP</i> , aquí es donde se integran las secciones de 4D y 5D, dentro del lapso de ejecución de la obra y viéndose fortalecido con el <i>VDC</i> . La metodología <i>BIM</i> , además de mejorar la coordinación entre todos los agentes implicados en la obra, nos permite el seguimiento del desarrollo de la obra debido a que nos posibilita la interoperabilidad del modelo 3D y con ello tenemos la posibilidad de saber si se está llevar a cabo de manera correcta (Onur y Nouban, 2019). Lo cual queda claro es que la metodología <i>BIM</i> se va a hacer indispensable y por consiguiente va a ser primordial que nuestra formación se actualice para mejorar nuestro desarrollo profesional en la zona.

Nota: Las definiciones mostradas dentro de la Tabla 3 son basadas en Holzer (2016).

2.1.3. TECNOLOGÍA Y SIMULACIÓN DENTRO DE ESTUDIOS LUMÍNICOS

Las primeras manifestaciones del uso de la computadora fueron con el *SketchPad* (véase Figura 13) de Sullivan, en la época de 1960, con ello la investigación sobre la elaboración de un modelado de geometría 3D ganó gran importancia debido a su potencial en diferentes áreas del diseño de producto, diseño arquitectónico y de ingeniería, juegos y demás. Esto se convirtió en un logro gracias a la capacidad de representar composiciones de formas poliédricas para visualización que se desarrolló a fines de la década de 1960 (Tedeschi, 2014). El diseño de las imágenes con estos poliedros era limitado y era posible producir modelos 3D prácticos con sólidos. Diferentes enfoques habían sido desarrollados por científicos y las herramientas de diseño arquitectónico de hoy en día, crecieron a partir de funciones paramétricas aplicadas a objetos, cuyas capacidades que se desarrollaron, siguen evolucionar hoy en día (Kensek y Noble, 2014).

En referencia a este punto, en las últimas dos décadas se han tenido un auge en programas y aplicaciones con bastante potencial para ser implementadas por usuarios especializados y no especializados dentro del entorno de simulaciones y modelado tridimensional que apoyen a la visualización de datos, no obstante, al ser adquiridas y/o absorbidas por compañías con mayores recursos económicos, estos cambian de uso y pueden convertirse en aplicaciones totalmente diferente. Muchas de las aplicaciones utilizadas en para los procesos de simulación y modelado de uso libre, son desarrolladas especialistas y por personas que no tienen una carrera profesional dentro del área de programación, no obstante, es común que muchas aplicaciones dejan de funcionar por falta de actualizaciones y/o mantenimiento, esto puede representar grandes cambios, dentro de los programas que podemos tener acceso para el diseño lumínico como se muestra en la Tabla 4, la cual muestra los programas que forman parte del *Palette 2030 Tools*, como una propuesta alternativa a programas de alto costo con fines similares, dentro de estos podemos encontrar los siguientes:

Tabla 4

Programas especializados para simulaciones Lumínico-Ambiental complementarios.

Nombre	Compañía	Descripción	Uso
<i>Edge</i>	<i>Gob. Ingles / Gob. Suizo</i>	Plataforma para evaluar proyectos	Plataforma de paga
<i>Pathfinder</i>	<i>Climate Positive Desing</i>	Plataforma para evaluar proyectos	Plataforma gratuita
<i>Sefaira</i>	<i>Tremble</i>	Simulaciones energéticas	Plataforma de paga
<i>Autodesk Insight</i>	<i>Autodesk</i>	Simulaciones energéticas	Plataforma de paga
<i>Cove.tool</i>	<i>Cove.tools</i>	Simulaciones energéticas	Plataforma de paga
<i>Climate Consultant</i>	<i>UCLA</i>	Visualizador de información climática - análisis de modelos de confort.	Plataforma gratuita
<i>SUNREL</i>	<i>NREL</i>	Simulaciones energéticas	No especifica
<i>FenestraPro</i>	<i>FenestraPro</i>	Simulaciones energéticas	Plataforma de paga

Nota. Elaboración basada en la información de 2030-Palette (2020).

Uno de los aspectos que no son considerados en la mayoría de los diseños, está relacionada con la energía que consume un edificio a lo largo de su vida útil, la cual tendrá mayor impacto que cualquier otro aspecto de diseño, considerar la energía utilizada dentro de las distintas etapas para el desarrollo del mismo, tales como la energía utilizada para su construcción o la operación ya en funcionamiento y las distintas operaciones que este deba realizar. Es por ello que modelar el rendimiento energético, a través de simulaciones energéticas y de iluminación,

tanto natural como artificial, es de suma importancia durante el proceso de diseño de un edificio, bajo esta premisa nacen los edificios de alto rendimiento, para ello, es requerido un estudio que respalden los procesos de optimización de recursos y lograr obtener certificaciones medioambientales (Zhang y Ong, 2017) ya sea en mediante *LEED V4* o *WELL*.

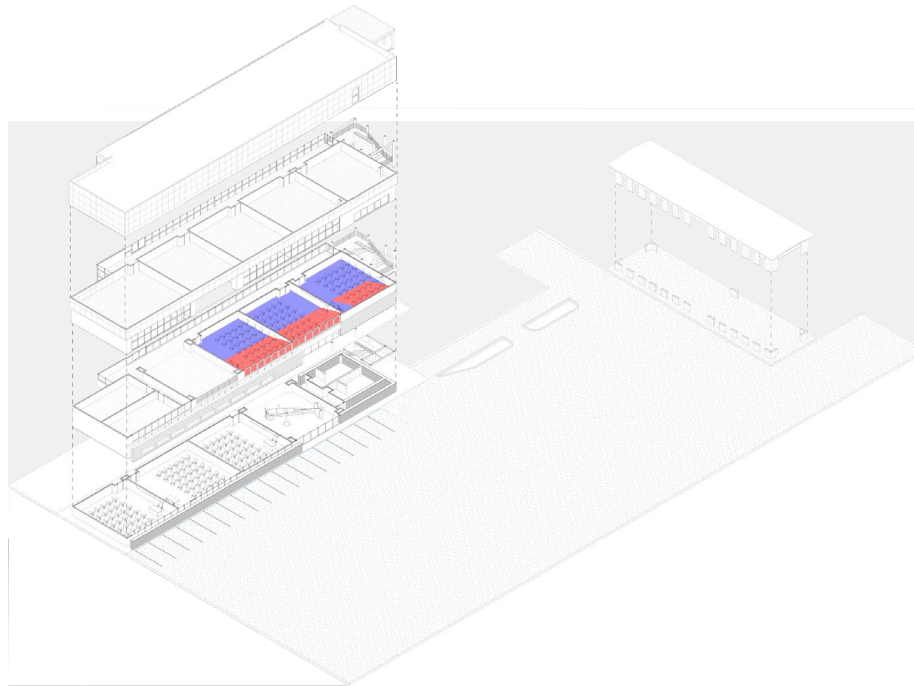
Actualmente, nos enfrentamos a una nueva etapa de crisis energética asociada a recursos energéticos derivados de energías fósiles, la cual tiene repercusiones económicas y medioambientales, estudios demuestran que los edificios consumen hasta un 40% de la producción de energía anual (IEA, 2020), dentro de ese consumo, la energía de consumo es utilizada aire acondicionado, iluminación, ventilación, entre otros, es por ello de la importancia de un modelo energético visualizado con programación visual desde una etapa temprana del diseño, este puede ayudar a prevenir gastos innecesarios de energía, y en la mayoría de las ocasiones, apoyar en los procesos de diseño, al hacer estos más eficientes y rentables (ANSI/ASHRAE, 2004; Brophy, 2012; Cole y Oliver, 2016; Mackey et al., 2015).

Aplicar un modelo de programación visual enfocado en simulaciones de iluminación natural, permite comprender los impactos energéticos a favor o en contra de un inmueble, el ciclo de vida del edificio puede apoyar al desarrollo de propuestas eficientes que permitan la optimización de recursos, en el caso de la tecnología *BIM*, este puede llegar a entender las 7D de trabajo al ser esta última, de más reciente creación en 2014 e implementada actualmente hasta en un 85% de las obras de gran impacto que utilizan la interoperabilidad de archivos en la metodología y tecnología *BIM* (Charef et al., 2019), a partir de 2014 *BIM* se convierte en un enfoque nuevo, moderno y revolucionario de diseño y documentación de proyectos de construcción (Fazli et al., 2014).

Con la entrega de un diseño bajo una metodología aplicada a la tecnología *BIM* se puede crear uno o varios modelos geométricos precisos y asignar información que respaldará las actividades de construcción y gestión durante todas las fases del proyecto. Sin embargo, lo más impresionante de *BIM* es la coordinación entre todos los participantes del proyecto. Estos pueden ser el cliente, el arquitecto, el ingeniero, el contratista, consultores, fabricantes y operadores (Kensek y Noble, 2014). La Figura 12, muestra el modelo *BIM* isométrico con desplazamiento de niveles mostrar el interior de salones y los distintos espacios del edificio F, en esta se aprecia la

afectación directa en los salones del nivel 01, en rojo esta señalado el área principal de afectación durante las distintas temporadas del año por no tener algún elemento de protección en la fachada sur.

Figura 12
Isométrico con desplazamiento de niveles.



Nota. Modelo BIM en isométrico con desplazamiento de niveles, elaboración propia.

A su vez, se puede explicar que con los procesos de diseño implementar la metodología *BIM*, existe una transparencia dentro del proyecto que hace posible que todos los involucrados tengan una participación jerárquica dentro de las distintas etapas del proyecto, a lo cual, los resultados de los procesos de las distintas disciplinas pueden modificarse durante las fases del proyecto. Los objetivos clave de este método son creados con una mayor flexibilidad y permiten realizar cambios más rápidos durante cualquier etapa del proceso de diseño.

La pregunta es, ¿qué tiene de especial *BIM* en comparación con un flujo de trabajo tradicional? Los ingenieros, arquitectos y constructores se reúnen con sus respectivos dibujos y los superponen para encontrar dónde existen cruce de objetos, ingenierías entre otros y dónde

no. Esto es muy común en los procesos de construcción y la ocasión para esto es el flujo de trabajo lineal que se utiliza.

Una de las desventajas actuales de aplicar un diseño en su totalidad con herramientas *BIM*, podría ser la falta de las aplicaciones dentro de los programas especializados para el desarrollo de simulaciones digitales o virtuales (Kota et al., 2014), sobre todo, no aplicar de manera directa en el proyecto, un apoyo al diseño lumínico, por tal motivo, aún se sigue buscar un modelo que permita el desarrollo de un simulador de rendimiento energético dentro de los edificios o *BPS* (*Building Performance Simulation por sus siglas en inglés*) por sus siglas en inglés (Mitterhofer et al., 2019). Por ello que la implementación de *Autodesk Dynamo* presenta en este momento un nuevo potencial de convertir esta preconcepción la mentalidad de las personas que no utilizan la programación visual o la aplicación de las tecnologías *BIM*, en permitir a los diseñadores explorar marcos iterativos en el contexto de una herramienta *BIM* apoyada en programación visual, con aspectos de interoperabilidad y presentación de datos especializados.

Al implementar la tecnología *BIM*, dentro de un proyecto se puede diseñar, administrar y ejecutar todo en un modelo central, el cual es hospedado dentro de un servidor, y el archivo puede ser compartido con múltiples usuarios simultáneamente. Inicialmente, el mayor defecto en el proceso tradicional de diseño, es la falta de comunicación de las partes contribuyentes en el proyecto. El resultado de esto puede causar conflictos y problemas más adelante en el proyecto que conducen a cambios que deben cambiarse, lo cual es un procedimiento costoso (Bellido-Montesinos et al., 2019).

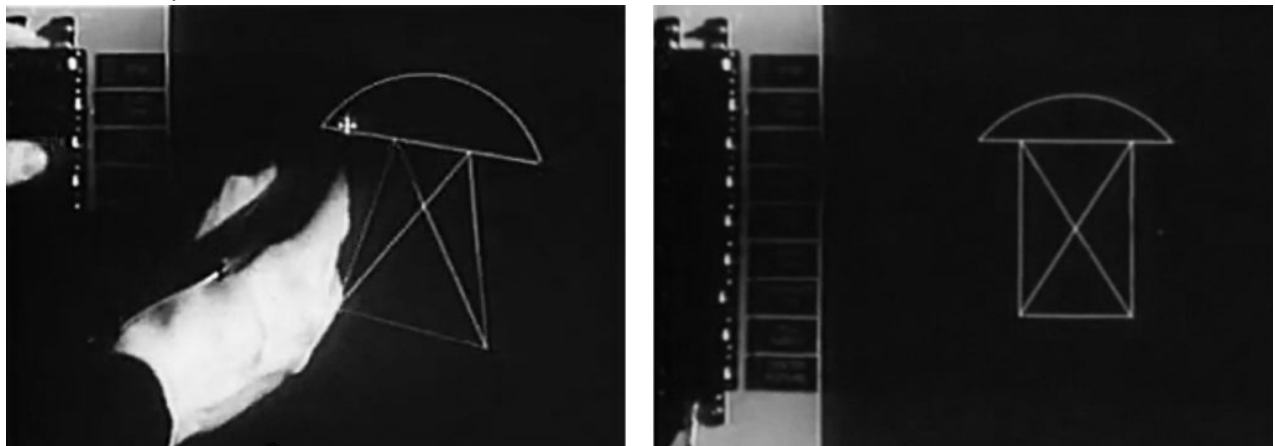
Sin embargo, estos cambios pueden evitarse adoptar un enfoque de diseño integrado donde todas las coordenadas se inician durante la fase inicial del proceso de diseño. Esto se logra según la carga frontal del proyecto y permitir que todas las partes estén en la misma página desde el principio. Esto crea oportunidades para ser mucho más eficiente, tener un control y monitoreo constante sobre los distintos procesos de diseño (Juan y Zheng, 2014).

2.1.4. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL (VPL)

La primera generación de diseño asistido por computadora se dio por medio de una interfaz de usuario a computadora, las limitaciones de este primer sistema eran notoria, no obstante, sería un paso significativo para revolucionar los procesos con los que la documentación era elaborada, principalmente de manera análoga, la cual dependía de elementos elaborados a partir de dibujos a lápiz o tinta, y estos pasaban de ser bocetos a planos completos que albergaban distintos tipos de proyectos. Con la implementación de los procesos digitales, realizar procesos complejos y recurrir a una computadora resultaban más sencillos, esto aunado a las características particulares y limitaciones con las que contaban los primeros equipos de cómputo.

El sistema original de diseño asistido por computadora (CAD) fue *Sketchpad*, desarrollado por *Ivan Sutherland* en 1963 (Wintour, 2018). Este era un modelo basado en restricciones, por vía de la manipulación de distintos elementos geométricos, que a su vez modificas a otros elementos geométricos, la Figura 13 muestra la aplicación del programa, él contaba con una pantalla para realizar trazos en las coordenadas x-y, utilizar un lápiz óptico, el dispositivo de entrada a la computadora con forma de varita. Sin embargo, llevaría otros 20 años hacer que esta tecnología sea asequible y accesible para un público más amplio con *AutoCAD* lanzado en 1982, continuar con la práctica de representar edificios como múltiples dibujos 2D (Tedeschi, 2014).

Figura 13
Sistema Sketchpad, 1963, Ivan Sutherland.



Nota. El programa constaba de una pantalla de trazador x-y y el lápiz óptico recientemente inventado, un dispositivo de entrada de computadora con forma de varita (Tedeschi, 2014).

Por lo general, la elaboración de un diseño mediante el uso de elementos digitales y tecnológicos, ya sea este una ordenador o una Tablet, establece una relación entre el usuario y el formato de trabajo que este utilizara e implementara para llegar a una tarea específica, el resultado de esta tarea, se convierte es un modelo geométrico bidimensional o tridimensional, en muchas ocasiones, esto se puede volver una tarea repetitiva y desgastante, la implementación de programación visual establece un formato de trabajo que permite facilitar tareas repetitivas según una serie de pasos a seguir, establecidos en reglas denominadas algoritmos. Recientemente se ha convertido en uno de los procesos principales para el desarrollo del modelado tridimensional en el área de la arquitectura y la ingeniería (Kensek, 2015).

La elaboración de un diseño, involucra establecer una coordinación visual sistemática, la cual contiene una relación entre el diseño y las partes que lo lleguen a involucrar. El desarrollo de un formato sistematizado de trabajo establecer reglas de trabajo y pasos de retroalimentación, se convierte en un trabajo por medio de algoritmos (DynamoPrimer, 2016).

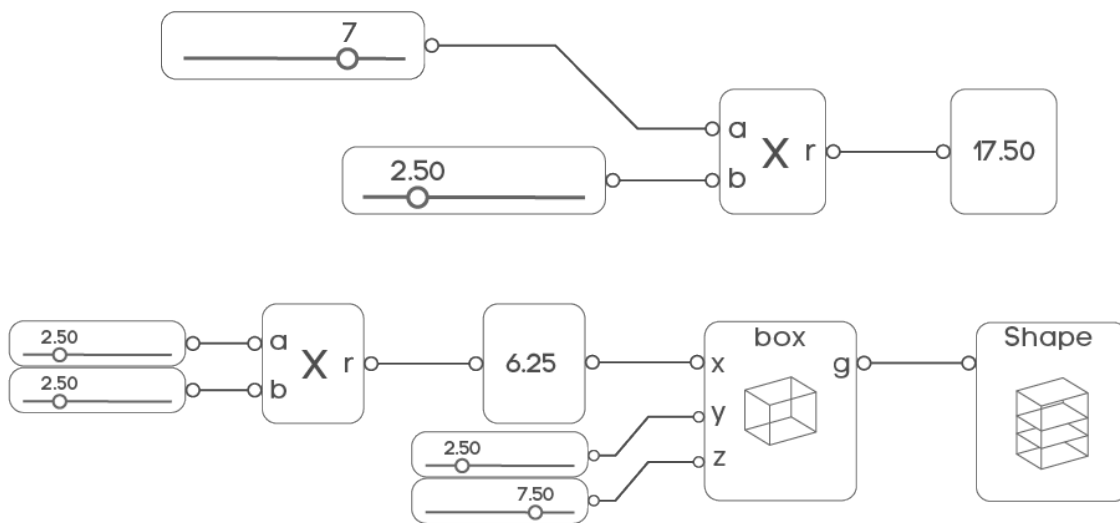
Circa 2008 cuando se comienza a incorporar el uso de la tecnología *BIM* dentro de los métodos para simulación y estudios ambientales, registrados dentro de artículos de investigación científica (Matarneh et al., 2019), en 2013 se inicia la integración de los modelos *BIM* integrar la información de sistemas de análisis climático y confort, inicialmente relacionados con aire acondicionado, no obstante, la información relacionada con los temas de sensores climáticos para visualización de información dentro de modelos *BIM* era mínima, y actualmente no es un requisito dentro de las nuevas construcciones en LATAM y sobre todo en México, es aquí donde se centra la importancia y relevancia de esta investigación, al ser este uno de los distintos nichos de oportunidad en el área científica.

De igual manera las herramientas de programación por medios digitales que serán parte fundamental al momento de complementar los vacíos dentro del entorno de la tecnología *BIM*, mediante estos realizar los procesos de diseño lumínico con el uso de programación visual y de texto, implementar el uso de código abierto para generar la interoperabilidad entre distintos lenguajes digitales de trabajo, y tener como resultado mejorar el desarrollos de investigación academia, científica y de la industria, resaltar el enriquecimiento y beneficios para el sector de la investigación aplicada, el diseño y la construcción, reflejados en el aprovechamiento de recursos

naturales y buscar la máxima eficacia de sistemas de índole no mecánica dentro del diseño lumínico.

Mediante un modelo de programación visual, se puede obtener un enriquecimiento en el flujo de trabajo y los procesos controlados para el desarrollar simulaciones digitales y virtuales, podemos determinar los procesos para el desarrollo dentro de un modelo energético, desde una perspectiva visual, apoyada en este caso, de la herramienta *Autodesk Dynamo*, ya que por sus características de ser *Open-Source* permite un formato de trabajo de programación visual (Yang y Chou, 2019), la cual puede integrar programación por de texto de manera directa, utilizar nodos para el desarrollo de elementos *BIM* dentro de *Revit Architecture* como se muestra en la Figura 14, además de elaborar bloques de código de programación de manera directa dentro de la interfaz de Autodesk Dynamo, programación de nodos en lenguaje *Python*, agrupación de nodos para el desarrollo de paqueterías complejas y paqueterías especializadas en lenguaje *BASIC*, *C#*, *JSON*, *Java*, etc. (Kensek, 2015)

Figura 14
Visualización de script para programacion visual



Nota: El script que se muestra en la figura anterior es una representación abstracta, figura basada en (Tedeschi, 2014)

Si bien la programación visual, se vuelve a menudo necesaria para implementar un diseño sofisticado de manera intencional, la Figura 14 muestra mediante el uso *scripts* y paqueterías especializadas en *BIM* un ejemplo bajo un esquema de trabajo llamado comúnmente diseño paramétrico, las interfaces de programación visual pueden reemplazar a los formatos convencionales de diseño, por medio de una codificación elaborada con un lenguaje visual de conectar pequeños bloques o nodos de funcionalidades independientes en un sistema o procedimiento completo integrado por conexiones alámbricas (Kensek, 2015). La programación visual permite a los usuarios crear programas informáticos manipular los programas y elementos gráficamente en lugar de textualmente.

En el caso de los procesos para el diseño lumínico, está claro que un lenguaje sencillo de programación visual podría ser más fácil de entender para personas no familiarizadas con la programación en general, ya sean no programadores o programadores novatos (los arquitectos normalmente encajan en estas categorías), para el desarrollo de ejemplos de las herramientas de programación visual, archivos de interoperabilidad y los formatos que se pretender desarrollar dentro de esta investigación, se estará utilizar las aplicaciones para el diseño arquitectónico de *Dynamo* para *Revit Architecture* y *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D*.

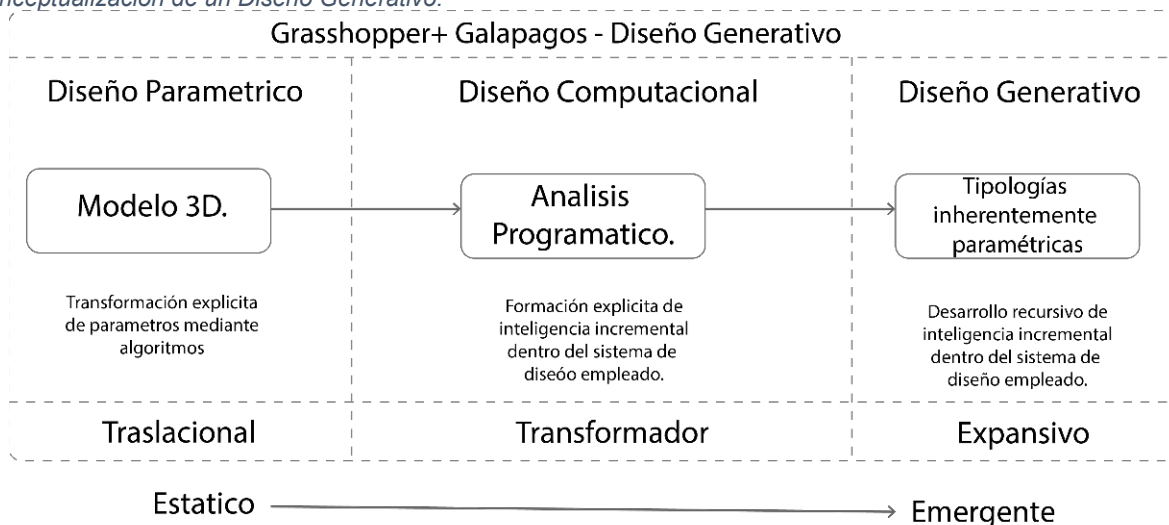
2.1.5. DISEÑO Y MODELADO PARAMÉTRICO

Las técnicas de modelado digital basada en algoritmos, se realizan mediante la implementación de una serie de reglas abstractas que permiten obtener una serie de metas, las cuales, estarán directamente relacionadas con un resultado, estos resultados serán sujetos a los conocimientos y habilidades del modelador o diseñador (Peters y Peters, 2018). Esta serie de instrucciones o reglas, apoyan dentro de los procesos de diseño con un alto nivel de complejidad de los modelos a obtener, estos por lo general, son modelos orgánicos de alta complejidad geométrica, que, de realizarse de manera análoga o manual, no podrían ser reproducidos de manera eficiente, es en este punto donde se debe tener en cuenta y comprender la diversidad y clasificación de los procesos de modelado y diseño arquitectónico actuales, los cuales pueden ser descritos de la siguiente manera: paramétrico, computacional y generativo (Harding y Shepherd, 2017; Jaskiewicz, 2013; Peters, 2018; Shi y Yang, 2013)

Un proceso de modelado paramétrico, está asociado con una serie de reglas y dependencias que pueden ser expresadas usar un método gráfico de diseño basado en nodos y diagramas, las cuales son conocidos como scripts (Tedeschi, 2014), estas son más accesibles para los modeladores ya que no requieren conocimientos técnicos sobre lenguaje de programación y pueden ser ejecutados de manera directa al abrir el programa de cómputo que tenga una aplicación que permita implementar este proceso.

Dentro de las primeras aproximaciones abiertas al público, se tiene el trabajo de Arturo Tedeschi en 2010 con el libro de *Architettura Parametrica – Introduzione a Grasshopper*, posteriormente publicaría una actualización en inglés ya en 2011, *Parametric Architecture with Grasshopper* y en 2014 se tendría su última entrega, *AAD_Algorithms-Aided Design*, estos son un compendio de información y funge como instructivo o instructivos de primera instancia, ya que su presencia está mucho antes de que se volviera popular o se tuviera la información como hoy en día en redes sociales y otras plataformas. Por otro lado, también se tiene el trabajo de Daniel Davis en 2013, su trabajo de tesis doctoral *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture* (Davis, 2013) brinda una serie de datos históricos, teóricos y prácticos para el campo específico de la arquitectura, la Figura 15 muestra de manera conceptual el proceso de diseño paramétrico y computacional a diseño generativo.

Figura 15
Conceptualización de un Diseño Generativo.



Proceso de optimización de Diseño Generativo de Galapagos para Grasshopper.

Nota. Proceso evolutivo de un Diseño Parametrizado a la conceptualización de un Diseño Generativo.

Para fines prácticos, dentro de esta investigación la definición de diseño paramétrico estará referida al formato de expresar un resultado mediante el uso de reglas y dependencias aplicables a un modelo, esperar un resultado como producto de cada iteración o su resultado. No obstante, diversos autores limitan este término a la salida del modelo paramétrico como de naturaleza puramente geométrica, ya que la mayoría de los modelos arquitectónicos son reconocibles por su articulación de la forma, su organización y los elementos de ensamblaje como instrumentos tridimensionales (Oxman, 2008).

Sin embargo, los resultados del modelo pueden estar claramente explícitos y relacionados con la información que pueda contener sus elementos de diseño, estas pueden ser etiquetas descriptivas, especificaciones de materiales u otros elementos de datos numéricos puros: es común que un modelo paramétrico genere no solo geometría, sino también una gran cantidad de información asociada. Los resultados del modelo se vuelven importantes cuando se consideran las relaciones que los modelos suelen tener entre sí, tanto dentro como entre proyectos de diseño.

Por lo tanto, se considera que los modelos paramétricos tienen la capacidad de entregar no solo elementos geométricos, sino colecciones completas de sistemáticas de información relevante para la entrega de una solución dentro de un proyecto arquitectónico, más cuando este proceso, puede vincularse directamente con *BIM*.

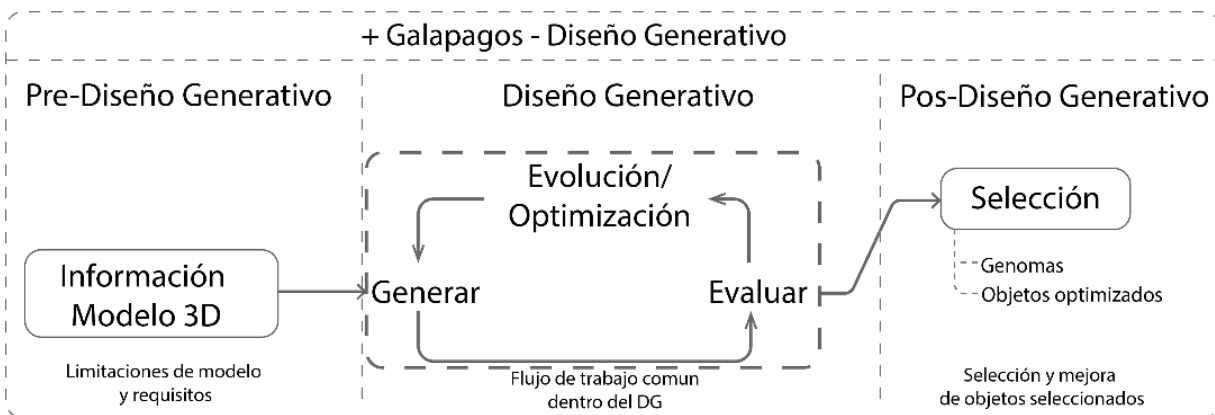
Entonces, acuñar una definición más concreta de diseño paramétrico pasaría a ser: El diseño paramétrico es un conjunto de ecuaciones que expresan información sobre el despliegue de un sistema de información arquitectónico, como funciones explícitas de una serie de parámetros expresados mediante nodos dentro de un lenguaje de programación visual, de tal modo que un modelo paramétrico puede verse como compuesto de parámetros, una traducción de funciones y su información expresada. Estos tres componentes principales se reformularon aquí como parámetros, algoritmos y resultados.

2.1.6. MODELADO POR MEDIO DE ALGORITMOS GENERATIVOS

Mccormack (2004) define al diseño generativo como la exploración del principio de generar formas y patrones a partir de una simple especificación. A su vez, el modelado aplicado en función de algoritmos generativos, pasa a ser una integración dentro de un programa de cómputo especializado, que hace uso de herramientas y/o aplicaciones al hacer uso de algoritmos genéticos tipo *NSGA-II* (Hong et al., 2017; Naboni et al., 2015) o en dado caso, aquellos de tipo evolutivo tipo *CMS-ES*. Este último, al implementar el uso de una serie de intervenciones y procedimientos que proporciona un grado de autonomía al modelo para ser ejecutado según un número finito o infinito de iteraciones que pueda proporcionar el modelador, así como las reglas de compromiso que existan para limitar las acciones del *script* a implementar funciones multiobjetivo.

Para lograr una optimización de manera flexible y relativamente sencilla, se optó por la implementación de *Galapagos*, dejar así, consideraciones para que el sistema del modelo generativo se vuelva abierto y con ciertas limitaciones desde un inicio, la Figura 16, muestra de manera específica los diferentes pasos a seguir antes, durante y después de obtener resultados de un diseño generativo, modelado basado en la aplicación antes mencionada, el esquema se basa del primer de Rutten (2011).

Figura 16
Proceso para obtener resultados de un diseño generativo.



Nota. Procedimiento a seguir antes, durante y después de obtener resultados de un diseño generativo, modelado basado en la aplicación de *Galapagos*, adaptado de Rutten (2011). Elaboración propia.

Por su parte, Villaggi y Nagy (2018) explican que el diseño generativo es un proceso de exploración del diseño, mediante el cual los diseñadores o ingenieros ingresan una serie de parámetros y objetivos de diseño en el software de diseño generativo, en conjunto de parámetros como rendimiento, o bien requisitos espaciales, tales como los materiales, los métodos de fabricación y las limitaciones de costos, estos dependen de la complejidad o sencillez de los algoritmos utilizados dentro de los *scripts*, estos pasarán a ser aquellas variables las cuales tendrán un rango de operación que se verá reflejado dentro de las futuras iteraciones que se desarrollen en la optimización. La aplicación de este tipo de algoritmos explora aquellas posibles permutables de una solución, generar rápidamente alternativas de diseño.

La ejecución de algoritmos generativos dentro de un modelo generativo está basado en la prueba, evolución y aprendizaje de cada iteración qué funciona y aquellas qué no, al definir esquemas de población llamadas genes o genomas, no obstante, existen diversos formatos para alcanzar un lenguaje óptimo de diseño generativo, la Tabla 5 muestra los diversos lenguajes operativos aplicables a diseño generativo o diseño evolutivo, estos pueden cambiar de valor y depender de la programación, o aquellos datos integrados dentro de este, realizar procesos para realizar combinaciones, evolución de los datos o genomas, hasta obtener una solución óptima, los valores básicos de evolución de estos datos son basados en buscar mínimos y máximo (Calle, 2017; Hansen, 2014; Hiron, 2022; Rutten, 2011; Terzidis, 2009).

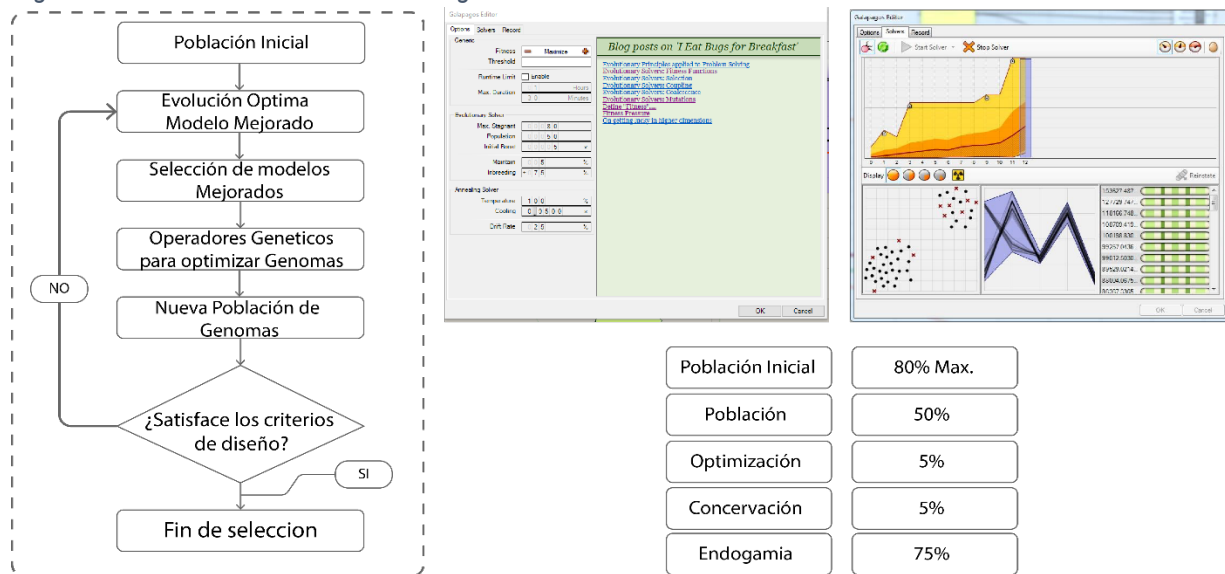
Tabla 5
Tipos de algoritmos aplicables a la optimización y diseño generativo.

Tipo	Abreviatura	Clasificación
Optimización Bayesiana	TPE	<i>Tree Parzen Estimator</i>
Algoritmos Genéticos	NSGA-II	<i>Non-dominated sorting genetic algorithm II</i>
Estrategias Evolutivas	CMS-ES	<i>Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy</i>
<i>Random</i> o Aleatoria	<i>Random</i>	
<i>Grid</i> o Rejilla	<i>Grid</i>	

Nota: La tabla anterior nos muestra los distintos algoritmos para el desarrollo y diseño de scripts para algoritmos generativos basado en (Hiron, 2022; Rutten, 2011).

Dentro de la Figura 17 se muestra una aplicación puntual de este tipo de acciones, la cual se tendrá que contemplar entro de los procesos de diseño jerárquico que involucren al modelo generativo como una opción dentro de aquellos proyectos donde se tengan los recursos y tiempo suficiente, ya que este tipo de acciones no se basan en una definición general que pueda ser utilizada para todo tipo de proyecto, el uso y aplicación de modelo generativo basado en cálculos evolutivos o algoritmos genéticos, deberá proporcionar de forma reflexiva a los modeladores y/o diseñadores una solución a implementarse de manera gradual a los proyectos arquitectónicos, podrá proporcionar una gran flexibilidad en su aplicación y de variación natural de nuevos sistemas y formatos de diseño, los cuales, de manera natural, serán de manera emergente en el campo del diseño conceptual.

Figura 17
Diagrama de funcionamiento de modelado generativo.



Nota. El diagrama muestra el funcionamiento para generar el modelado basado en la aplicación de *Galapagos*, adaptado de Rutten (2011). Elaboración propia.

2.1.7. ANÁLISIS CLIMÁTICO

Una parte fundamental para el análisis de lumínico, está relacionado con ubicación geográfica del inmueble, esto se vuelve parte fundamental para realizar cualquier tipo de cálculo y datos relacionados con simulaciones, ya sea para determinar posibles consumos energéticos, cantidades aproximadas para carga de calefacción, refrigeración, iluminación natural, proyección de sombra, entre otros. Con la finalidad de validar los datos climáticos se implementara Ladybug Tools, la cual está basada en los estándares de *ASHRAE*, *Energy Plus* y *Radiance* como primera instancia, a su vez, datos de los estándares *LEED* y *WELL Buildings*, con ello, poder utilizar los datos para exterior y todo tipo de información proporcionada por datos meteorológicos, y todos aquellos al interior, y estar relacionados con la posición solar, temperatura, humedad, iluminación directa o difusa, entre otros, con la finalidad de desarrollar simulaciones óptimas y datos relevantes.

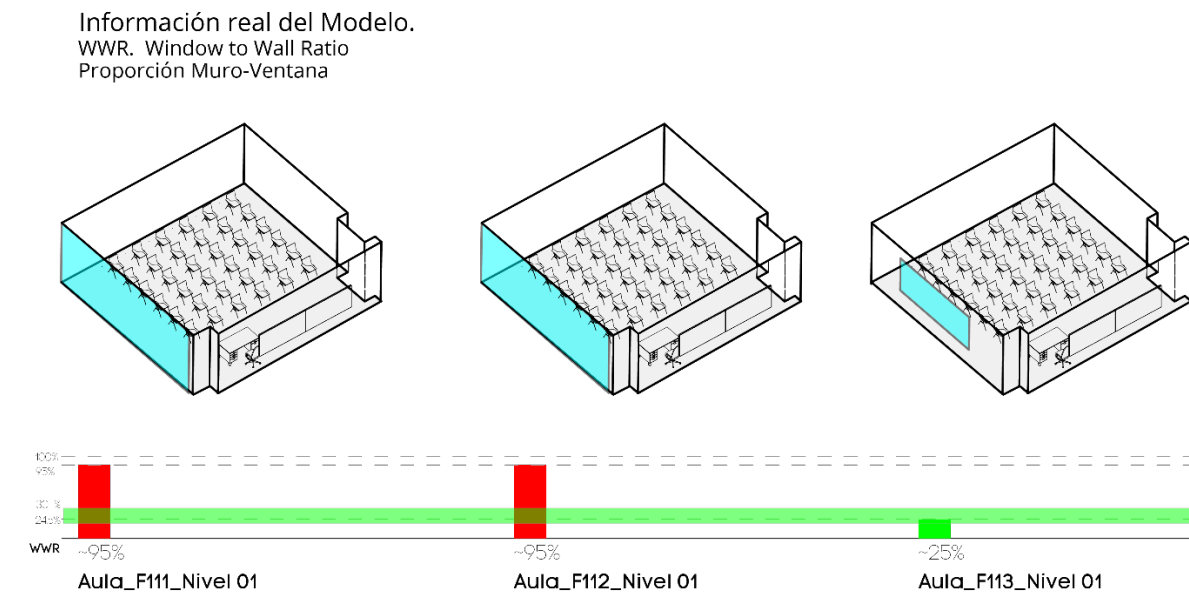
No obstante, ambos programas implementados para esta investigación, tienen la capacidad de integrar de manera sencilla su ubicación geográfica, esto permite recolectar o integrar los parámetros de sitio como:

- Latitud
- Longitud
- Elevación sobre nivel del mar
- Zona horaria (en el caso de *Rhinoceros 3D*)

Los elementos antes mencionados permiten calcular la posición solar (usar Latitud, Longitud y Zona horaria) para cualquier día del año, no obstante, carece de información relacionada con elementos meteorológicos que pueda brindar información extra para realizar cálculos como radiación directa, indirecta o difusa, dejar que el usuario solo tenga acceso a realizar un análisis solar de manera intuitiva, es por ello que aquellos modelos y simulaciones pueden ser analizados a mayor detalle dentro de aplicaciones como *Ladybug Tools* para el cálculo de iluminación, radiancia del cielo y cálculo de sombras, dentro de la Figura 18, podemos encontrar las aperturas al sur, las cuales son a base de ventanas de cristal claro con cancelería de aluminio, para fines prácticos, se carga al modelo la proporción de ventana sobre el muro, esta

es indicada dentro de uno de los componentes de *Honeybee*, por ello es importante considerar de manera general estos elementos como es señalado en la figura antes mencionada.

Figura 18
WWR de ventanas sur de aulas Nivel 01



Nota. La anterior nos muestra la proporción de las ventanas del modelo y edificio, un rango optimo es entre el 20% al 40% según Athalye et al. (2013)

Dentro de los archivos meteorológicos y climáticos, se contiene una serie de distintos datos, entre estos, se encuentra una secuencia que se dividen por mes, hora, minuto, donde se hospedan cada uno de los datos y elementos necesarios para el desarrollo de los cálculos de diversos factores como: temperatura de bulbo seco, temperatura del punto de rocío, humedad relativa, presión barométrica, radiación normal directa, radiación horizontal difusa, cielo total y opaco, dirección del y velocidad del viento, así como datos auxiliares relacionados con precipitación pluvial si el archivo contará con esta información, la cual depende principalmente del tipo de estación meteorológica y los sensores o servos con los que pueda llegar a contar, además de su orientación, mantenimiento y actualización de información.

La ASHRAE (2014b) define como *Sizing Period o Design Day*, a los días o periodos donde se describe los días de diseño, dentro de la aplicación de *Ladybug* y *Honeybee* se contienen nodos y elementos destinados a imitar las condiciones de diseño de ASHRAE, no obstante, la

información puede llegar a variar entre programas más completos a las aplicaciones como la antes mencionada, ya que *Ladybug Tools* utiliza solamente el archivo tipo .EPW (Roudsari y Pak, 2013), no obstante si en la carpeta de lectura del archivo no cuenta con los tipo .DDY (*Day Data Files*), muchos de los resultados podrán ser no favorables o los nodos no funcionaran. Es aquí donde es imperativo saber si los archivos meteorológicos contienen o no las condiciones necesarias para obtener lecturas y simulaciones correctas.

El usuario debe decidir qué conjunto de condiciones, factores y elementos deberá utilizar e implementar para el desarrollo de las simulaciones que apliquen a las condiciones específicas del diseño a desarrollar y con ello, obtener resultados óptimos para la implementación del diseño basado en los estudios realizados. De los datos a implementarse dentro de este trabajo de investigación, los datos de luminancia e intensidad luminosa, donde:

2.1.8. SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

Jung (2013) y Kota (2014) definen la simulación energética dentro de los edificios o bien llamada *BEM* o *Building Energy Modeling*, similar a *BIM*, dentro de las características de cada herramienta *BEM* sus atributos pueden incluir diferentes procesos de análisis o modelos por defecto, elementos esencialmente específicos que facilitan la entrada y salida de información para el uso de un software. Para su funcionamiento con otro software, se requiere un proceso interoperabilidad entre programas *BIM* y *CAD* que permitan la facilidad de adoptar *BEM* en los flujos de trabajo. Dentro de las múltiples opciones que se puede llegar a tener dentro de las simulaciones o modelos *BEM* están: Predicción y estimación de energía, consumo energético, diseño opcional de energía, evaluación energética, eficiencia energética, optimización energética, entre otros (Pezeshki et al., 2019).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

En la actualidad, tanto el rol, como las expectativas con respecto al papel que deben tomar los arquitectos y diseñadores dentro del área de rendimiento energético de los edificios, han cambiado considerablemente y estos seguirán cambiar. No basta con crear edificaciones estéticamente aceptables, actualmente surge una gran necesidad de diseñar edificios de alto rendimiento para las nuevas demandas del siglo XXI (AIAU-AIA, 2020), que pueda reflejar la riqueza de conocimientos sobre la energía, como una oportunidad para el diseño, a su vez, realizar una integración del uso de elementos de simulación y rendimiento de edificios en la práctica, esto, se ha convertido en una necesidad absoluta. Es por ello que debemos mirar como oportunidad aquellos desafíos técnicos actuales dentro de nuestras comunidades para integrar la simulación como una parte normal de la práctica, esta integración también puede presentar desafíos relacionados con la cultura de la empresa y los recursos de personal, sin importar su tamaño.

Dentro de esta investigación se ha ideado la implementación de herramientas que hagan uso de funciones algorítmicas que faciliten la interacción del usuario con elementos basados en programación visual o de texto, para realizar un uso inclusivo y cohesivo. No obstante, es normal encontrarse con distintas limitaciones que afectan los parámetros que se buscaban medir, por lo cual se buscó no implementar dentro de estos, aquellos relacionados con la ventilación directa, al reconocer el impacto que puede llegar a tener dentro del confort de un usuario, o el impacto directo o indirecto dentro de un espacio, afectar incluso el desempeño térmico de manera positiva o negativa.(ANSI/ASHRAE, 2004), quedar solamente los relacionados con salud, confort y percepción.

A su vez, otra de las áreas no consideradas para esta investigación, son aquellas relacionadas con energía y temperatura, esto con la finalidad de acotar y enfatizar los recursos de simulación a un área específica, dejar la posibilidad a futuros estudios la incorporación de estas, no obstante, la plataforma de *LadybugTools*, incluye un simulador para realizar cálculos basado en dia_horas de uso semanales (Roudsari y Pak, 2013). Dentro de *Revit*, se pueden integrar materiales y supuestos de construcción, y aunque estos no representan una limitación real para las herramientas a implementarse, un futuro usuario o investigador no especializado

puede llegar a no contar con toda la información o conocimientos para incorporar los datos de manera óptima, dificultar la operatividad y recreación de nodos o scripts para un correcto funcionamiento.

Por tal motivo, esta investigación se enfocará, al estudio de aquellos elementos relacionados con la iluminación, para abordar los elementos cualitativos y cuantitativos según la información recopilada para la interpretación de los datos obtenidos y procesados, además de integrar como formato de caja gris la mayoría de elementos que pueda ser utilizados, con la finalidad de que el usuario final tenga la facilidad de modificar a su necesidad lo que crea conveniente.

2.2.1. LUZ DIURNA Y REFLECTANCIA

Durante la última década, los procesos de diseño dentro del área de la arquitectura han experimentado cambios en los formatos para acreditación de un proyecto de mediana y gran escala o metros cuadrados de construcción efectiva, dentro de estos, hoy en día se contemplan nuevos estándares y con ello, nuevas unidades de medición que van ligadas con aspectos cualitativos y cuantitativos dentro de alineaciones para la obtención de certificaciones, premios o reconocimientos (PENNSTATE, 2010).

Una de las razones principales por las cuales los nuevos formatos de medición de unidades y sus umbrales han cambiado, están ligados a la satisfacción con la luz natural durante los distintos horarios del día, los cuales pueden provocar una sensación distinta en los usuarios de dichos espacios o inmuebles. Como resultado, la dentro de las unidades de medición de la luz del día y su umbral se han verificado a base de experimentación in situ. El diseño de la iluminación natural depende de factores como la ubicación, el clima, la orientación del edificio, la reflexión, los materiales, la disposición del espacio y la edad de los ocupantes. Estos factores muestran que las métricas de luz diurna deben considerar el contexto. Las unidades de medición de luz diurna comunes, como el factor de iluminación natural, son independientes de factores contextualizados como la edad de los ocupantes. Los estudios muestran que las personas mayores necesitan más iluminación y son menos sensibles al contraste de brillo (Reinhart y Wienold, 2011).

Esto ha provocado que, en la práctica y la investigación existente, se tengan mediciones de iluminación y luz diurna distintas, dentro de estas categorías o divisiones, podemos encontrar que las principales son: luz horizontal, como la cantidad de luz recibida dentro de un espacio y su incidencia dentro de mobiliarios de trabajo, es el caso de un escritorio, y el confort visual, como el *Glare* o deslumbramiento hacia el usuario al momento del uso de dicho inmueble durante cierto horario de uso. En los últimos años se busquen nuevos formatos más dinámicos de medición, utilizar la información basada en la ubicación geográfica del inmueble o edificio a analizar, traer datos meteorológicos reales de estaciones de la *WMO* para ser implementados en programas especializados de simulación y aquellos anualizados, para revisar rendimientos y comportamientos de consumos generalmente (Nabil y Mardaljevic, 2006). La Tabla 6 muestra aquellos elementos y herramientas que son utilizadas por medio de programas especializados de medición de iluminación diurna utilizada normalmente por asociaciones Internacionales y Nacionales.

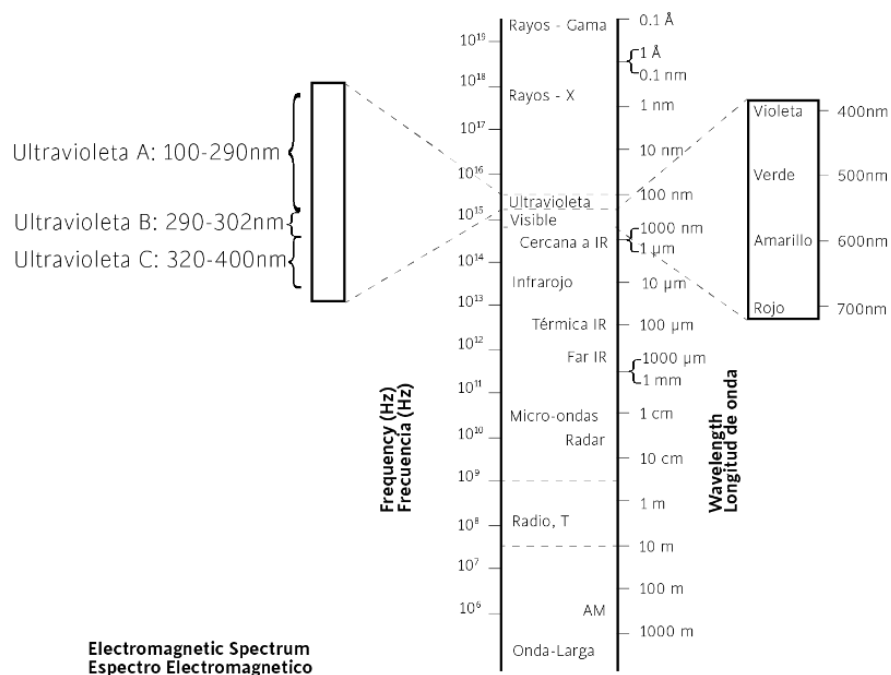
Tabla 6
Aplicaciones especializadas para uso interoperable bajo la metodología BIM.

Aplicaciones especializadas para uso interoperable en BIM o programas vectoriales								
NOMBRE	ESCRIPCIO DN	PAIS	TIPO DE USUARIO	DESARROLLADOR	CAPACIDADES PRINCIPALES	IDIOMA	PLATAFORMA	PRECIO.
Autodesk Insight	Insight 360 permite a los arquitectos y a los equipos integrados un acceso centralizado a los datos de rendimiento y análisis avanzados de edificaciones.	Estados Unidos	Arquitectos, ingenieros, propietarios, cualquier parte interesada en el desempeño energético y ambiental de los edificios	Autodesk	Simulación energética de edificios, Paramétrica y optimización, simulación de iluminación, análisis solar y fotovoltaico	Ingles	web/Saas	Cloud credits
OpenStudio	OpenStudio es un SDK (kit de desarrollo de software) de código abierto para la simulación energética de edificios.	Estados Unidos	Ingenieros mecánicos, energéticos, arquitectónicos y de control, auditores y operadores de edificios, diseñadores de productos de edificios, entre otros	DOE	Simulación de energía en edificios, medidas de conservación de energía, simulación de iluminación	Ingles	Linux, Windows, macOS	Free - Open source
EnergyPlus	EnergyPlus es el motor de simulación de energía de todo el edificio del DOE.	Estados Unidos	Ingenieros mecánicos, energéticos, arquitectónicos y de control, auditores y operadores de edificios, diseñadores de productos de edificios, entre otros	DOE	Simulación de energía en edificios, cálculos de carga, selección y dimensionamiento del sistema HVAC, simulación de flujo de aire	English	Linux, Windows, macOS	Free - Open source
Honeybee	Honeybee conecta <i>Grasshopper</i> 3D con EnergyPlus, Radiance, Daysim y OpenStudio para la simulación de energía e iluminación natural de edificios.	Estados Unidos	Arquitectos, ingenieros, diseñadores.	LadybugTools	Simulación energética de edificios, Paramétrica y optimización, simulación de iluminación, análisis solar y fotovoltaico	English	Windows	Free - Open source
Sefaira Architecture	Sefaira es una aplicación en tiempo real bajo la metodología simple box model, en una etapa esquemática del diseño	Estados Unidos / Reino Unido	Arquitectos, ingenieros y consultores de sostenibilidad	Sefaira	Simulación energética de edificios, Paramétrica y optimización, simulación de iluminación, análisis solar y fotovoltaico	Ingles	Web/Saas, Windows, MacOS	€ 3,000.00 2 años de licencia
Radiance	Radiance es un programa para el análisis y visualización de la iluminación y la iluminación natural en el diseño. patrocinadas por ISE en Alemania y EPFL & HSLU en Suiza.	Estados Unidos	Diseñadores de iluminación natural, iluminación y arquitectura.		Simulación de iluminación	Ingles	Linux, Windows, macOS	Free - Open source

Nota: los datos mostrados en esta tabla fueron elaborados a partir de información proporcionada en la página de IBPSA-USA (2021) dentro de las especificaciones de programas y aplicaciones especializadas para iluminación, con coste gratuito, acceso a licencia educativa o bajo coste de licenciamiento, según sea el caso y/o programa a emplear, términos y condiciones pueden variar, cada usuario deberá revisar de manera personal, los periodos de prueba por programa y acceso permitido según el mismo para no caer en los procesos de caja negra.

Para entender la iluminación, se debe comprender primero qué es la luz. La luz o iluminación natural, la podemos entender como una parte de la radiación electromagnética con longitudes de onda de 380-780 nm, frecuencias sensibles para el ojo humano (Evans, 2016), la Figura 19, muestra un esquema de las ondas electromagnéticas visibles al ojo humano, y ser estas aquellas que van desde el rojo hasta la onda violeta.

Figura 19
Espectro electromagnético, basado en (Evans, 2016)

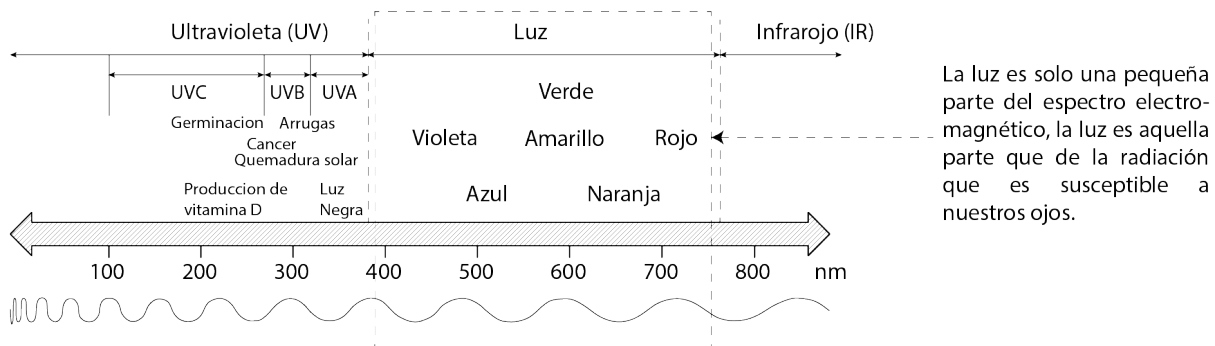


Nota: Figura basada en Evans (2016), elaboración propia.

Por otro lado, dentro de la Figura 20, se observa un diagrama basada en Lechner (2009), muestra de una manera más simplificada los patrones de onda y colores que a estos involucra, explicar los elementos de luz ultravioleta, aquellas ondas electromagnéticas de luz normal visible al ojo humano y aquellas que pasan a ser de luz infrarroja. Es común que un usuario no especializado enfoque muchas veces los inicios de sus investigaciones mediante datos basados en literatura especializada y al alcance de todos, no obstante, hoy en día se empieza a utilizar

información desarrollada por la AIA, dentro del *Architect's Guide to Building Performance*, en la cual, se muestran simulaciones usuales para toda creación de modelos de simulación energética, en especial para el aprovechamiento de la luz natural del día, dentro de los estándares internacionales como *LEED* y *WELL*, forman parte y comúnmente son un requisito del código (AIA, 2019; Flannery y Smith, 2014)

Figura 20
Espectro electromagnético de la luz

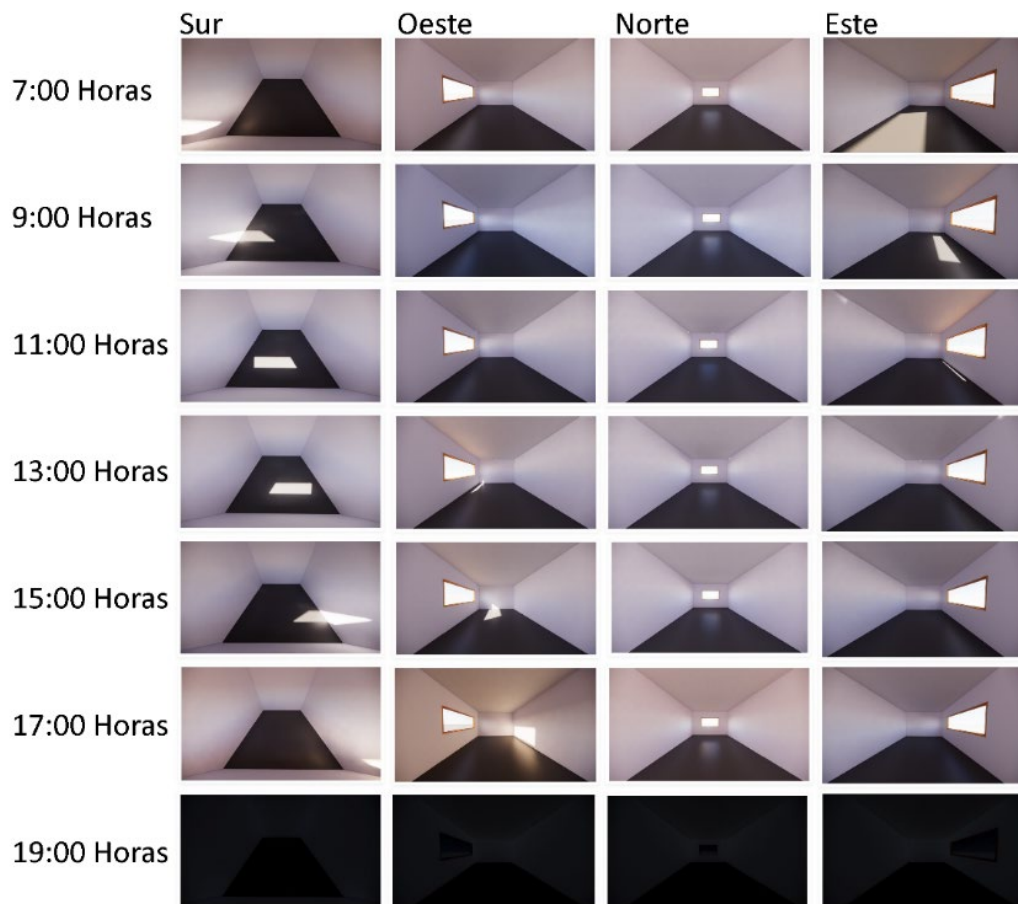


Nota: Figura basado en Lechner (2009), elaboración propia.

La captación de luz natural como una medida de energía, es bastante eficaz al momento de ser optimizada dentro de los espacios y forma parte de las medidas de conservación de energía eléctrica, sin embargo, el *Glare* o deslumbramiento directo sobre superficies de trabajo, forman parte de los efectos colaterales de la iluminación directa la cual puede afectar al usuario y por ende la productividad dentro del espacio, por lo cual ambos se simulan y analizados de manera simultánea. La simulación de luz diurna y deslumbramiento se realizan principalmente dentro de la etapa del diseño esquemático, con la finalidad de optimizar los espacios y no después que el diseño está completado. Constantemente la simulación la realiza el arquitecto, sin embargo, para usar de manera eficaz los resultados en la simulación energética de toda la obra, el trabajo se lleva a cabo por una persona especializada en simulación energética y optimización de recursos naturales.

Por otro lado, la Figura 21, muestra de manera simplificada la iluminación natural dentro de un espacio con una ventana fija con el mínimo requerido por el reglamento local de Tijuana B.C, las simulaciones corresponden a un periodo de 12 horas, alternar lecturas o simulación cada dos horas, dentro de la figura se puede apreciar el comportamiento distinto en el área que recibe iluminación natural y color, los 4 muros fueron considerados en color blanco mate y el piso en concreto aparente, las dimensiones del espacio son de 4.00 x 4.00 metros con altura de 2.50 y una ventana de 1.00 x 2.00 m con cristal claro y cancelería de aluminio.

Figura 21
Simulación de Luz natural dentro de un espacio con ventana fija.



Nota. La figura nos muestra la simulación de iluminación natural dentro de un espacio con ventana fija con el mínimo espacio de apertura requerido por el reglamento local de Tijuana B.C., considerar un periodo de 12 horas el día 21 de septiembre, según requisitos de LEED V4.

La meta es identificar e incorporar datos lumínicos en lugar de introducir aquellos datos de deslumbramiento y color, que forman parte de los estándares *ASHRAE 95.1, 209-2018* y criterios *LEED V4* donde se otorgan todos aquellos detalles sobre la simulación de luz diurna y deslumbramiento. Desde el punto de vista fisiológico, la exposición solar está ligada a una serie de regulaciones naturales del cuerpo humano, las cuales se pueden medir y referir con elementos como radiación electromagnética, la cual, puede traer beneficios o causar daños a órganos como la piel, no obstante, el ser humano ha evolucionado en torno a una exposición solar para mantener su salud física y mental (Tregenza y Wilson, 2011). La Figura 22 muestra una relación directa con la figura anterior, las diferentes lecturas simuladas para un espacio de 4.00 x 4.00 metros con altura de 2.50 y una ventana de 1.00 x 2.00 m. en un lapso de 12 horas con intervalos de dos horas entre sí reflejadas en gráficas tipo *Heatmap* o *mapa de calor*, las cuales inician a las 06:00 horas y terminan a las 19:00 horas, al utilizar la distribución requerida por la NOM-025-STPS-2008, el esquema de color permite identificar en qué periodo se recibe mayor iluminación dentro del espacio, y tener una constatación en la simulación con ventana al norte.

Figura 22
Lectura en lux respecto al reglamento municipal de Tijuana B.C.



Nota: La figura anterior nos muestra las diferentes lecturas simuladas para un espacio con los requerimientos mínimos requeridos por el municipio de Tijuana Baja California, integrar un esquema general de lectura de mallado.

2.2.1.1. IINTENSIDAD LUMINOSA

Esta refiere a la calidad de la iluminación de una habitación es influida por luminancia exterior, sino también por deslumbramiento. La intensidad de la iluminación debe ser aproximadamente de $2/3$ a $1/10$ de la iluminación total de la intensidad interior o según el uso final que tendrá cada espacio (Tijuana, 2019). Por lo tanto, es importante la orientación inicial del inmueble o edificio desde la etapa de diseño, así como seleccionar y posicionar elementos de protección contra el deslumbramiento de manera que proporcione una distribución de la luz del día sin deslumbramiento, evitar al mismo tiempo, ganancias térmicas que se vean reflejadas en la aplicación cargas de refrigeración innecesarias dentro de espacios interiores con orientación comprometida (Schittich, 2006).

Hoy en día, el diseño de edificaciones está basado en la premisa de ahorro de energía, basado en los factores térmicos medio ambientales, ya sea por medio de la implementación programas computacionales o herramientas especializadas de simulación (Boukli Hacene et al., 2011; Róka-Madarász et al., 2016), estas a su vez, apoyan al desarrollo e implementación de nuevos diseños que ayudan a mejorar la calidad de los espacios, enfocados en la reducción del consumo de energías por dispositivos eléctricos y busca fortalecer los esquemas de diseño pasivo que reduzcan el uso de medios mecánicos para el confort térmico del usuario, los formatos típicos de simulación se basan en aspectos lumínicos, tanto exteriores como interiores de un edificio o inmueble, así como aspectos que busquen el bienestar y la salud del usuario (Naboni y Havinga, 2019).

Lo ideal es que los arquitectos, modeladores y los especialistas de diversas ingenierías formen parte del mismo equipo de diseño desde el inicio del proyecto. Por lo general, el diseño arquitectónico toma la iniciativa en realizar simulaciones de aspectos sumamente básicos al principio del proyecto, este puede abarcar desde la etapa de anteproyecto, evaluaciones esquemáticas y posteriormente, un proyecto arquitectónico, por su parte, un modelador, puede recrear artificialmente escenas con iluminación artificial o con luz diurna que puede ser procesada en motores de renderizado y postproducción, a tal grado de no arrojar información verídica por la manipulación en los niveles de iluminación y por último, los especialistas en otras disciplinas de ingeniería se centrarán en aspectos puntuales, solamente una disciplina se encargaría de realizar

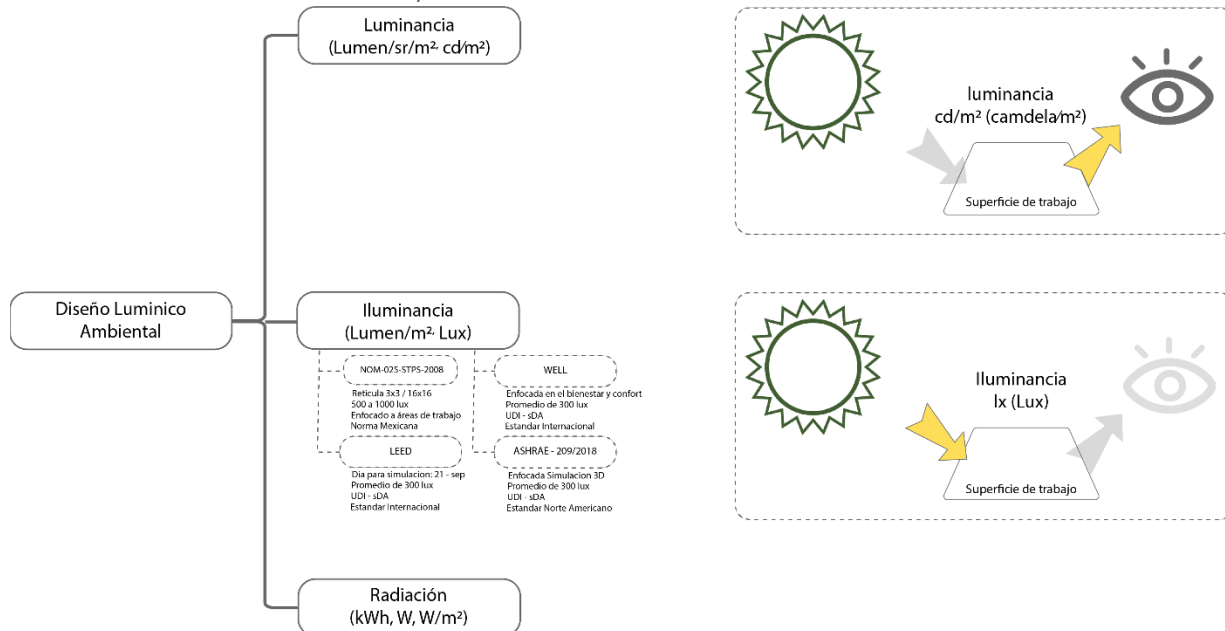
simulaciones de energía de todo el edificio en la fase de desarrollo del diseño y más aún, no todo el tiempo son tomadas en consideración por la afectación que puede causar al inmueble en su etapa final. Cualquiera que sea la disposición, es importante garantizar que la simulación del rendimiento del edificio esté integrada en el proceso de diseño y que las decisiones de diseño que afecten al rendimiento energético estén documentadas y comunicadas en todo momento (AIAU-AIA, 2020; ASHRAE, 2018; Menezes et al., 2022; Overbey, 2018).

2.2.1.2. DISEÑO LUMÍNICO

El diseño lumínico se encuentra conformado por aquellas dimensiones y características para el desarrollo y exploración de este ejercicio, al ser estas, las que pueda albergarse dentro del confort lumínico y aspectos de la iluminación natural (Athienitis y O'Brien, 2015) tal como se puede apreciar dentro de la Figura 23, dentro de los fenómenos que nos interesan son los relacionados con luminancia e iluminancia, con base en esto, hoy en día se considera como parte del diseño y simulación energética, así como la aplicación y simulación mediante el uso de herramientas (Kamel y Memari, 2019).

Originalmente, el diseño basado en este tipo de elementos era considerado como un elemento de lujo, pasar a ser una de necesidad que impacta las funciones que desarrollamos día a día o el cómo y dónde vivimos, tradicionalmente, implementamos de sistemas de protección solar si el diseño lo estipula desde su etapa inicial, o aplicamos el uso desmesurado de la iluminación artificial en caso de ser mal implementado.

Figura 23
Clasificación de unidades de medición para el diseño lumínico.



Nota: La clasificación propuesta es basada en Athienitis y O'Brien (2015).

Gracias a la interpretación de variables relacionadas al diseño ambiental, el ser humano pudo empezar a habitar zonas con clima frío o mayor cantidad de horas sin iluminación natural. Por su parte, la iluminación artificial acompaña al ser humano desde hace varios siglos, sin embargo, fue hasta la llegada de los sistemas de aire acondicionado, que el ser humano pudo migrar de manera masiva a lo que se conoce como el cinturón solar, sin tomar en cuenta condicionantes del diseño bioclimático de la arquitectura vernácula (Mars y FitzGerald, 2018), hoy en día, a raíz del diseño que no contempla la iluminación natural, o protección solar de ciertas caras de un edificio o inmueble, podemos llegar a tener gastos superiores a los previstos dentro de los gastos operativos finales, por malas decisiones dentro del diseño lumínico..

Actualmente, los estándares que están encaminados a un uso mínimo o nulo de energía, así como la AIA, contempla los siguientes puntos para el diseño conceptual según *Athienitis* y *O'Brien* (2015).

Tabla 7
Diferencia entre Iluminancia y Luminancia

Iluminancia	Luminancia
Imperceptible al ojo humano	Perceptible al ojo humano
Su valor es dependiente de la superficie que ilumina	Su valor es dependiente de la capacidad para reflejar la superficie que ilumina
Mide los valores en las superficies de trabajo	Mide los valores de la luz que refleja de la superficie de trabajo
Independiente del ángulo o dirección y cantidad de vectores de iluminación	Dependiente del ángulo o dirección y cantidad de vectores de iluminación

Nota: La tabla anterior nos muestra la diferencia entre Iluminancia y Luminancia

2.2.1.3. CONFORT LUMÍNICO Y VISUAL.

El confort va de la mano de la comodidad, este es un término que describe la condición física y emocional, así como una sensación subjetiva de bienestar. Esta sensación de bienestar puede ser influenciada o mejorada deliberadamente con una iluminación adecuada. Como se mencionó anteriormente, la luz del día actúa de forma más dinámica en términos de cambio de intensidad de luz, y por lo tanto transmite una sensación de la hora del día y el clima condiciones, y permite una mejor representación del color.

Ricciardi y Buratti, (2018), explican dentro de los sentidos del ser humano, la percepción visual alimenta la mayor parte de la información, es por medio del sentido de la vista, que recibimos información de nuestro entorno, por lo que la luz resulta un elemento muy importante, ya que permite distinguir la forma, el color y la perspectiva de los distintos objetos existentes en un determinado entorno. Es por ello que el confort visual se puede expresar a través de niveles óptimos de iluminación, iluminación y color, aunado a un buen manejo de espacios claros y oscuros y sombras.

Por otro lado, Buratti et al., (2018) mencionan que las condiciones para el confort lumínico pueden variar, esto depende principalmente de la ubicación geográfica y condiciones atmosféricas donde se ubique el inmueble o edificio, la tipología arquitectónica, acabado de los materiales, mobiliario, entre otros, a su vez, para comprender la incidencia del confort lumínico se considera necesario verificar los indicadores que se hacen presentes tanto al interior como al exterior del espacio, para ello se tomará en consideración de las características de iluminación artificial que pueda ser implementadas tanto al interior de un espacio como al exterior del mismo

Tan importante es la conexión visual con el mundo exterior, sobre todo para atender el reflejo de escape natural de los seres humanos. Por la presente, la disposición óptima (posición alta) y el tamaño son esenciales. Según los estándares modernos, el área de luz (tamaño de la ventana) debe tener en cuenta por lo menos el 10% de la huella de la habitación, no obstante, este puede llegar a variar según los códigos o reglamentos de construcción locales.

No obstante, requiere un área de luz de alrededor del 20 al 30% del total del área de cada espacio para poder desarrollar las actividades cotidianas dentro de un espacio, por otro lado, los porcentajes pueden llegar a variar según la actividad a realizar en dicho espacio o lugar. La altura

de la ventana debe elegirse de manera que se garantice una conexión visual permanente con el mundo exterior sin deslumbrarse. Otro factor que considerar es que el ángulo cambiante de la luz incidente limita la intensidad de la luz del día que entra en la habitación. Esta intensidad de luminancia decreciente debe equilibrarse con la luz artificial apropiada o las medidas direccionales de la luz.

Dentro de las desventajas que puede llegar a tener las condiciones mencionadas anteriormente, pueden provocar un aumento de temperatura causado por la radiación solar, esta debe ser tomada en cuenta cuando:

- Cuanto más grandes son las ventanas, más fuerte es este efecto al interior del espacio.
- En el caso de los edificios de oficinas, se puede provocar rápidamente un sobrecalentamiento del interior, y hacer incómodo el desarrollo de las actividades.

Se puede abordar el sobrecalentamiento temporal con refrigeración mecánica activa y ventilación cruzada, no obstante elementos pesados de construcción, espacios con alta concentración de usuarios o una construcción masiva, pueden llegar a tener retos distintos, es así como un análisis efectivo puede llegar a sugerir sombreados eficientes o dinámicos, también conocidos como arquitectura de envolventes, componentes de fachada cinética o sombreado pasivos orientados de manera inteligente.

2.2.2. UNIDADES DE MEDICIÓN LUMÍNICA

Para entender el comportamiento de la iluminación y cómo medirlo dentro de un espacio, se desglosan los siguientes términos y descripciones, estas obedecen a formatos de medición, las cuales son utilizadas por *ASHRAE*, *LEED*, *WEEL* y otras instituciones internacionales, incluyendo la *AIA*, no obstante, en México y América latina no son utilizadas salvo en aquellas edificaciones que buscan una certificación, y estas, a su vez, están desarrolladas con la metodología *BIM*, no obstante, son elementos que son considerados para esta investigación y tienen relevancia principal para generar información y expresar resultados de las simulaciones a realizar.

Iluminancia (lux o lx)

La cantidad de luz o flujo luminoso que atraviesa a cierta área dentro de un espacio, la cual puede ser medida en Lux o Candelas (Delos Living LLC, 2016). No obstante, existe no se deberá confundir con brillo, aunque ambas palabras están relacionadas, el brillo se refiere a la percepción del observador sobre un objeto que emite luz o iluminación, y la iluminancia se refiere a una medición objetiva de una fuente emisora de luz (Lechner, 2009).

La fórmula para obtener la iluminancia mediante el sistema internacional o SI es la siguiente:

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

Donde E es el cociente del flujo luminoso en un punto de un área $d\phi$ recibido por un elemento de área dA que contiene ese punto y el área de ese elemento. La simplificación de esta ecuación para obtener la unidad de Lux se expresa de la siguiente manera:

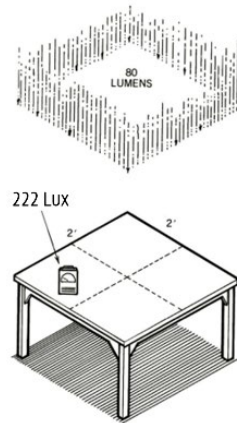
$$Lux = \frac{Lumen}{m^2}$$

Un ejemplo sería el de la Figura 24 donde se tiene una fuente de 80 lúmenes e incidir directamente sobre una superficie de 2'x2' donde:

$$Lux = \frac{80 \text{ lm}}{4 \text{ ft}^2 (0.90 \text{ m}^2 / \text{ft}^2)}$$

$$Lux = 222 \text{ Lux}$$

Figura 24
Iluminancia sobre una superficie plana genérica



Nota: La figura anterior nos muestra un ejemplo para obtener la iluminancia sobre una superficie plana genérica, donde se tiene el área y una fuente de iluminación constante, basado en Lechner (2009).

Lux

Es la unidad con la que se mide la iluminancia producida sobre una superficie de un metro cuadrado por un flujo luminoso de un lumen (lm) distribuido uniformemente sobre esa superficie.

$$\text{lx} = \text{lm} * \text{m}^{-2}$$

Lúmenes

El lumen (lm) es la unidad SI (sistema internacional de unidades) de flujo luminoso. Un lumen es el flujo luminoso emitido en unidad de ángulo sólido (sr) por una fuente puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de una candela.

Candela

La candela (cd) es la unidad SI de intensidad luminosa. La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hertz y que tiene una intensidad radiante en esa dirección de 1/683 watt por estereorradián.

$$\text{cd} = \text{lm} \cdot \text{sr}^{-1}$$

Luminancia

La luminancia (en una dirección dada, en un punto dado de una superficie real o imaginaria) es la cantidad definida por la fórmula:

$$L = \frac{d\phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega}$$

Donde $d\phi$ es el flujo luminoso transmitido por un haz elemental que pasa por el punto dado y se propaga en el ángulo sólido $d\Omega$ que contiene la dirección dada; dA es el área de una sección de esa viga que contiene el punto dado; θ es el ángulo entre la normal a esa sección y la dirección del haz. La unidad SI de luminancia es la candela por metro cuadrado ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$).

$$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

Los valores estándar de luminancia en el lugar de trabajo y depender de la actividad, la distribución de cada zona y la proximidad de la estación de trabajo a cada ventana. Los valores típicos se encuentran en la región de 300 lx para estaciones de trabajo cerca de ventanas, 500 lx para estándar oficinas en cubículo y 700 lx para oficinas diáfanos con alto grado de reflexión de la superficie o 1000 lx para oficinas diáfanos con reflexión superficial media (Schittich, 2006).

2.2.2.1. CONFORT VISUAL Y PROBABILIDAD DE CONFORT VISUAL O VCP (VISUAL COMFORT PROBABILITY)

El confort visual generalmente se define a través de un conjunto de criterios basados en el nivel de luz en una habitación, el equilibrio de contrastes, la temperatura del color y la ausencia o presencia de deslumbramiento (Lechner, 2009). En realidad, existen muchas definiciones diferentes de comodidad visual y lo que debe medir como parte de ella (Ricciardi y Buratti, 2018). Dicho esto, el confort visual es un campo de estudio emergente y casi todos los días se proponen distintas unidades de medición, entre las más utilizadas podemos encontrar:

- La medida o la cantidad de luz natural durante el año: el potencial de un edificio y su ubicación para proporcionar suficiente luz natural a los ocupantes. Esto generalmente se explora a través de la autonomía de la luz del día o la iluminación útil de la luz del día.
- La distribución de la luz tal como la percibe el ojo: si un espacio será demasiado brillante o contrastado demasiado.

Hoy en día existen una serie de conceptos que no tienen unidad de medición, estos son adecuados lentamente a los nuevos flujos de trabajo y de certificaciones, en los cuales se toman en cuenta aspectos cualitativos y cuantitativos de la luz (Ochoa y Capeluto, 2006), por ello, es importante tomar en cuenta el *VCP* o *Visual Comfort Probability*, mediante este, se puede expresar una probabilidad de des confort por parte del usuario cuando se definen ciertas condiciones (Lechner, 2009), para obtener dichos resultados de manera cuantitativa, se implementa la siguiente ecuación de Probabilidad de Confort Visual (Jakubiec y Reinhart, 2011):

$$VCP = 279 - 110[\log_{10} \sum_{i=1}^n \left[\frac{0,5L_{s,i}(20.4\omega_{s,i} + 1.52w_{\sin^{-0}}^{0.2} - 0.75)}{p_i E_{a-9}^{a_{44}}} \right]^{n-0.092}]$$

2.2.3. NUEVAS MÉTRICAS DE MEDICIÓN RELACIONADAS CON ILUMINACIÓN NATURAL.

ASE – Exposición anual a la luz (Annual Sun Exposure)

Describe qué parte del espacio recibe demasiada luz solar directa, lo que puede causar molestias visuales (Glare o deslumbramiento) o aumentar las cargas de refrigeración. Específicamente, ASE mide el porcentaje de superficie que recibe al menos 1000 lux durante al menos 250 horas ocupadas por año.

DA - Autonomía Solar (Daylight Autonomy)

DA es definido como la cantidad de tiempo durante el año en que se alcanza un nivel de luz establecido mediante el uso de solo la luz del día y la iluminación útil de la luz del día, que observa un rango de niveles de luz aceptables y elimina los períodos de tiempo en los que podría ser demasiado oscuro o demasiado brillante (Schwegler, 2010).

También es definida como una unidad de medición estática del rendimiento de la luz diurna; pero también hay una serie de unidades de medición dinámicas relacionadas con el rendimiento de la luz del día, las cuales forman parte de la autonomía de la luz del día que pueden proporcionar una comprensión más profunda del rendimiento de la luz del día y el ahorro de energía a lo largo del tiempo. La autonomía de la luz o autonomía solar del día es una unidad de medición que mide el porcentaje de tiempo que la iluminación del espacio a nivel de diseño se cumple solo con la luz del día. La medida es para un punto en el espacio; pero se pueden agregar varios puntos para un espacio completo. Por lo general, las horas consideradas en la métrica son horas ocupadas con luz diurna, en lugar de 24 horas al día. Sin embargo, las horas incluidas se pueden modificar para satisfacer una necesidad específica del proyecto (Hootman, 2013).

sDA – Autonomía de iluminación espacial (Spatial Daylight Autonomy)

Cabe mencionar que el *sDA* se calcula en base a una cuadrícula o retícula espacial donde se colocan sensores, por lo general a una altura de 60 cm o bien, donde se encuentra el área de trabajo del espacio a simular o realizar el cálculo. Los sensores deberán recibir cierta iluminación natural, la unidad de medición en esta será de lux está por encima del umbral 300 lux dentro de

cada división reticular o sensor, ya que este es el único umbral avalado actualmente por la IES (*Illuminating Engineering Society* por sus siglas en inglés), en caso de ser bien implementado el *sDA* dentro de un espacio de trabajo, no hay necesidad de iluminación artificial y el consumo de energía sería cero (Hemsath y Bandhosseini, 2017).

En términos de cantidad de iluminación, se refiere al porcentaje de superficie de suelo que recibe suficiente luz natural durante al menos el 50% de las horas anuales de operación o uso de los espacios ocupados (Nabil y Mardaljevic, 2006) o bien $sDA_{300/50\%}$, el valor de 300 lux está pensado para obtener una certificación *LEED* o *WELL* (Delos Living LLC, 2016), y se considera cuando se alcanza o se excede el valor antes, no obstante, dentro de los espacios los valores porcentuales pueden variar según el espacio, llegar a ocuparse hasta un 75% como recomendación general según la *ASHRAE*, y se especifica que esta no debe exceder los 1000 lux por más de 250 horas anuales (ASHRAE, 2014a), no obstante, la guía para *K-12* de edificaciones escolares, solicita hasta el 100% de iluminación hasta en 2/3 partes de las horas de uso de aulas de estudio, cuartos de recursos, cafeterías, gimnasios y cuartos multiuso (ASHRAE, 2011, 2018).

El apartado 62 de *WELL*, indica que una exposición apropiada de iluminación natural, proporciona al usuario una serie de beneficios a la salud, entre estos, una regulación del ritmo circadiano, no obstante, también especifica que una sobre exposición solar puede causar malestar o des confort, entre estos *Glare* o deslumbramiento y contraste visual (Delos Living LLC, 2016).

UDI – Iluminación espacial útil (USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE)

El *UDI* es una métrica de disponibilidad de luz natural correspondiente al tiempo en el que la luz natural del día cumple un rango de iluminación dentro de un punto específico en un espacio, existen tres rangos de iluminación, al ser estos: 0 a 100 lux, 100 a 2000 lux y más de 2000 lux, este formato de medición sólo proporciona crédito para certificación si los valores se mantienen dentro de los 100 lux a 2000 lux (AIA, 2019). Por otro lado, se interpreta como el porcentaje de iluminación espacial útil de superficie es referido normalmente dentro de la literatura especializada como aquella medición del suelo que cumple con un rango de iluminancia de 100 y 2000 lux

durante al menos el 50% de las horas ocupadas (Nabil y Mardaljevic, 2006). Esta métrica evita un nivel excesivo de luz natural y una posible incidencia de deslumbramiento (Rogers, 2006).

Dentro del artículo *Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors* Nabil y Mardaljevic (2006) exploran las distintas aplicaciones a nivel internacional entre distintas métricas o unidades de medición, dejar claro su utilidad al momento de realizar la planeación de un inmueble en la etapa conceptual de diseño e implementar el formato *simple box model*.

Glare – Deslumbramiento

Glare o deslumbramiento es una unidad para medir la incomodidad física de una ocupante causada por un exceso o contraste de luz dentro del campo de visión en un espacio, existir dos tipos, directo y reflejado (Lechner, 2009). Por lo tanto, depende de la distribución de luminancia vista por un observador, que puede correlacionarse muy mal con las unidades de medición de iluminación del plano de trabajo, tales como como el factor de luz diurna (*DF*) o la autonomía iluminación espacial (*sDA*), especialmente en aquellos espacios con fuente de iluminación natural en la parte superior de estos (Jakubiec y Reinhart, 2011).

Glare se expresa típicamente como la proporción del tamaño, la ubicación y la luminancia de las fuentes de deslumbramiento en un campo de visión en comparación con la luminancia promedio que no incluye la fuente de deslumbramiento. Esto se puede expresar como una ecuación simplificada:

$$Glare = \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^{exp} \omega_{s,i}}{L_b^{exp} P_i^{exp}}$$

Donde *exp*, es un exponente de ponderación aplicado a cada variable. Se puede observar que, de manera generalizada, fuentes de deslumbramiento (L_s) más grandes y brillantes aumentan la probabilidad de deslumbramiento, donde (ω) es el tamaño del ángulo sólido de una fuente de deslumbramiento. Una luminancia media o de fondo más brillante (L_b) reduce la probabilidad de deslumbramiento, y cuanto más lejos esté una fuente de deslumbramiento del centro del campo visual, es menos probable que le moleste. El valor de P , el índice de posición, aumenta a medida que una fuente de deslumbramiento se acerca a su periferia visual con un valor de uno perfectamente centrado en su visión.

Tabla 8

Niveles máximos permisibles del factor de Reflexión.

Concepto	Niveles máximos permisibles de reflexión K _f
Paredes	60%
Plano de Trabajo	50%

Nota: Datos según datos de la NOM-025-STPS-2008 (STPS, 2008)

Por otro lado, organizaciones como *WELL Institute*, considera a *Glare* o deslumbramiento directo sobre superficies de trabajo como: La luz eléctrica o natural de alta intensidad se refleja en las superficies brillantes que pueden colocarse en ángulos subóptimos dentro y alrededor de los espacios para los ocupantes, en relación con las ventanas. La incomodidad resultante puede ser un obstáculo para un entorno de trabajo cómodo y eficaz. Ajustar el ángulo en el que la luz incide en una superficie puede ayudar a evitar que la luz se refleje directamente en el ojo (Delos Living LLC, 2016).

En su apartado 55 del estándar V1, hace alusión a que tener elevados niveles de deslumbramiento o *Glare* dentro de un espacio, puede llegar a causar fatiga visual, y este es causado por una fenestración desprotegida que permite que la luz solar se refleje directamente sobre la superficie de los objetos, provocar una ceguera temporal en la retina (Delos Living LLC, 2016), la Tabla 23 muestra los valores con los cuales se mide la percepción de *Glare* o deslumbramiento directo sobre superficies de trabajo dentro de un espacio, los cuales van desde valores admisibles hasta aquellos que no permiten el desarrollo de funciones cotidianas para el usuario.

- *Direct Glare*

Se refiere a todo aquel deslumbramiento directo causado por una fuente de luz en el campo de visión que es lo suficientemente brillante como para causar molestias, incomodidad o pérdida del rendimiento visual. Se llama deslumbramiento por incomodidad cuando produce malestar físico y deslumbramiento por discapacidad la cual reduce el rendimiento visual y la visibilidad (Lechner, 2009).

- *Indirect Glare*

Se refiere a aquellos reflejos provenientes de distintas fuentes de luz, las mesas brillantes o los pisos pulidos causan un problema similar al deslumbramiento directo. El deslumbramiento indirecto a menudo se evita mejor aplicar acabados planos o mate sobre las superficies. Sin embargo, cuando se tiene una superficie brillante dentro del espacio, el sistema de iluminación debe diseñarse para evitar que se produzca este deslumbramiento reflejado. En caso de no poder evitar las superficies brillantes, se deberá minimizar el deslumbramiento indirecto utilizar una fuente de luz difusa o con geometría espacial (Lechner, 2009).

- Método de análisis por gradientes

Este es un método de optimización que comienza con una estimación inicial y la mueve iterativamente hacia valores más bajos de una función dar pasos en la dirección del gradiente negativo, *Snyman* (2005) propone un nuevo formato de visualización de resultados aplicables a funciones vectoriales mediante la aplicación del método de análisis por gradientes, el cual se pueden optimizar los resultados para estudios computacionales basados en variables multiobjetivo aplicables al desarrollo de algoritmos genéticos.

Dentro de Tabla 9 se puede apreciar el concentrado de los elementos más importantes dentro de las nuevas métricas de iluminación y energía que se emplean actualmente al momento de realizar cualquier tipo de estudios relacionados con simulaciones termo energéticas.

Tabla 9
Resumen de Métricas de Iluminación y energía.

<i>sDA</i>		<i>ASE</i>		<i>UDI</i>		<i>DGP</i>		<i>EUI</i>
<i>Spatial autonomy</i>	<i>Daylight</i>	<i>annual exposure</i>	<i>Sunlight</i>	<i>Useful Illuminance</i>	<i>Daylight</i>	<i>Daylight Probability</i>	<i>Glare</i>	<i>Energy Use Intensity</i>
El porcentaje de área de piso que recibe un nivel mínimo de iluminación (por ejemplo, 300 lux) para un porcentaje mínimo de horas anuales ocupadas.		El porcentaje de área de piso que excede un nivel de iluminación específico (por ejemplo, 1000 lux) durante un número específico de horas ocupadas por año.		El porcentaje de horas de trabajo donde la iluminancia de la luz del día en un espacio está entre 10 y 200 fc.		Una evaluación del campo visual de un ocupante potencial, considerar el brillo general de la vista, la posición de las fuentes de luz y el contraste visual dentro del espacio. DGP cuantifica y predice cuándo los ocupantes pueden experimentar deslumbramiento molesto.		Consumo anual de energía de un edificio en kWh/m ² /año (kBtu/ft ² /año). Site EUI es la suma de la energía comprada consumida por el edificio. Fuente EUI considera la energía del sitio, así como la energía perdida durante la producción, transmisión y entrega al sitio.

Nota: La tabla muestra un resumen de los conceptos y estrategias de Bonham, (2020)

2.2.4. ENVOLVENTES ARQUITECTÓNICOS Y PROTECCIONES PASIVAS.

Una definición sencilla para envolvente arquitectónico, sería relacionar los muros de una edificación o aquellos elementos que rodean y protegen el inmueble, separar un espacio interior de uno exterior, sin embargo, hoy en día esto puede llegar a ser más complicado, originalmente una fachada estaba compuesta por un muro sólido y un vano o fenestración que permitía el ingreso de aire, luz o fungía como entrada y salida. Hoy en día, una fachada pasa a ser un envolvente que puede llegar a cumplir aplicaciones que van más allá de las estéticas por pasar a ser funcionales, estructurales y un formato de expresión creativa (Bonham, 2020; Gao, 2011; Herzog et al., 2004; Knaack et al., 2007).

Así pues, en la actualidad los envolventes arquitectónicos pasaron de ser elementos sencillos a ser parte de la edificación en un formato de interacción que permite regular, mejorar y condicionar las acciones o actividades que ocurren en los espacios internos, o bien, forman a ser parte de un lenguaje que puede expresar un lenguaje interactivo con el entorno (Knaack et al., 2007; Yu, 2013).

En la actualidad existen distintos tipos de sistemas constructivos como se muestra en la Figura 25, los cuales pueden ser considerados como envolventes arquitectónicas, no obstante, encontramos dos que pueden predominar de manera general, aquellas con elementos fijos o bien, aquellas con aperturas, dentro de estas, se puede llegar a tener una clasificación más compleja, no obstante las que cumplen con una función específica para esta investigación son aquellas a base de sistemas de carga estructural sobre fachada y o aquellas de doble piel, los cuales pueden ser desde sistemas acristalados hasta elementos conocidos como *Kinetic architecture* o arquitectura interactiva, arquitectura cinética (Bonham, 2020; Gao, 2011; Herzog et al., 2004; Knaack et al., 2007).

Figura 25
Clasificación de superficies según su tipología.

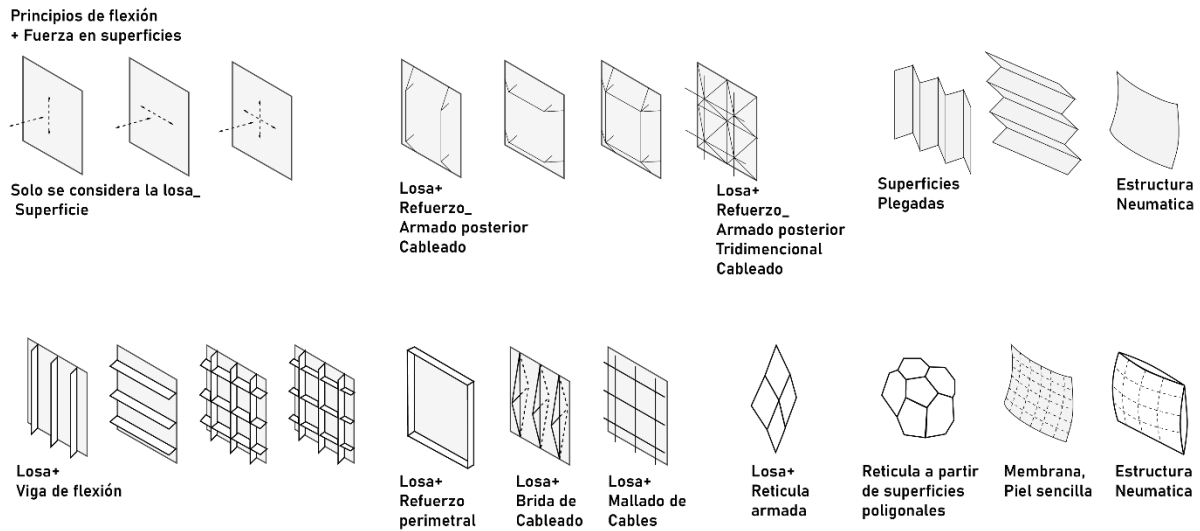
Clasificación de Fachadas según su tipología



Nota: La figura muestra la clasificación de superficies de fachada según su tipología y función, imágenes basadas en Herzog et al., (2004)

Dentro de las múltiples ventajas que pueden presentar los envolventes arquitectónicos, existen aquellos que pueden ser denominados como protección pasiva, al ser estos elementos estáticos cuya función principal es proteger el inmueble, sin necesidad de tener una función mecánica específica o requerir de una alimentación eléctrica para su correcto funcionamiento (Bonham, 2020; Hemsath y Bandhosseini, 2017), la Figura 26 muestra los distintos formatos que existen de distintos envolventes que son utilizados normalmente en las edificaciones contemporáneas, a su vez, la figura muestra envolventes que van desde elementos simples, hasta aquellos con mayor complejidad.

Figura 26
Clasificación de superficies según su tipo de flexión y formato de diseño.

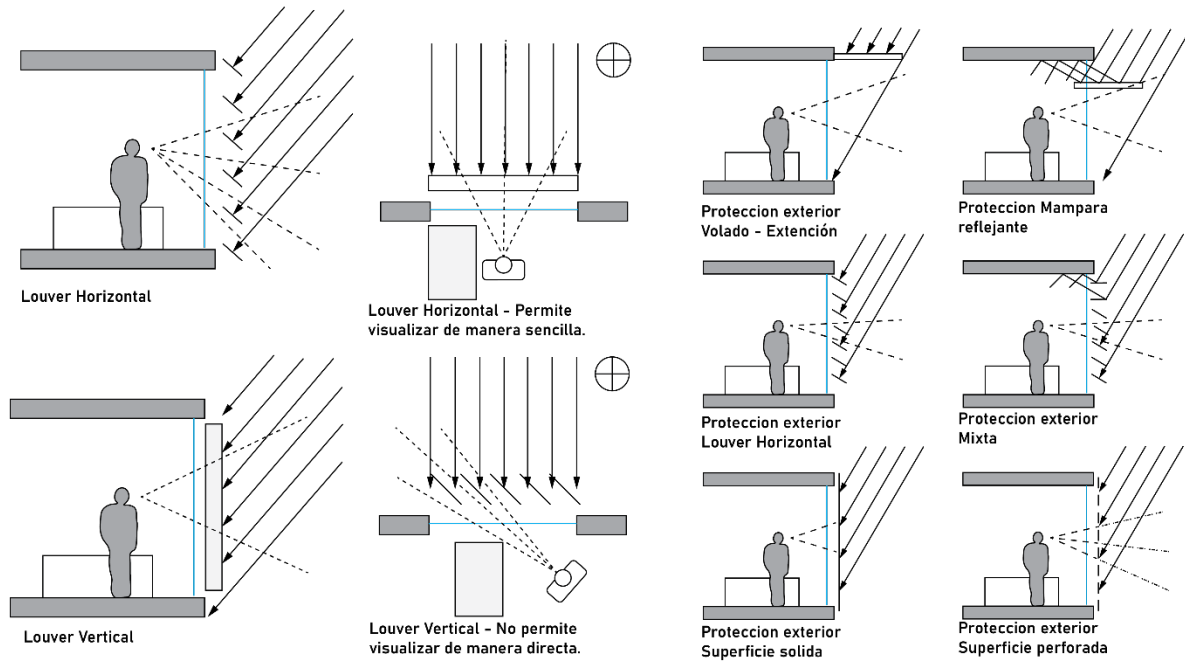


Nota: Las distintas imágenes aquí mostradas, forman parte de los distintos sistemas que podemos encontrar en los formatos de fachadas actuales, imágenes basadas en Herzog et al., (2004)

En el caso de las protecciones pasivas, existen diversos tipos, algunas están orientadas a funcionar como una doble piel sobre el inmueble, estas pueden ser de naturales, compuestas, laminadas o bien, de elementos sintéticos, dentro de los formatos más utilizados, se encuentran aquellas que pueden estar adosadas o suspendidas sobre la fachada o envoltorio, las cuales pueden ayudar a mejorar aspectos como iluminación natural, ganancia o pérdida por radiación solar, vista al exterior, Glare o deslumbramiento directo sobre superficies de trabajo, entre otros aspectos (Herzog et al., 2004; Knaack et al., 2007).

Por su parte la Figura 27 muestra las opciones viables para el funcionamiento del algoritmo a implementarse dentro de esta investigación, el cual busca obtener la mejor medición de $sDA_{300/50\%}$ mediante diseño generativo, utilizar información climática interpolada para recuperar aquellos elementos relacionados con la información relacionada con la iluminación, e implementar elementos de protección pasiva estáticos, que puedan ser aplicables a distintos inmuebles, sin comprometer la vista al exterior en aquellos muros con amplia proporción de ventana.

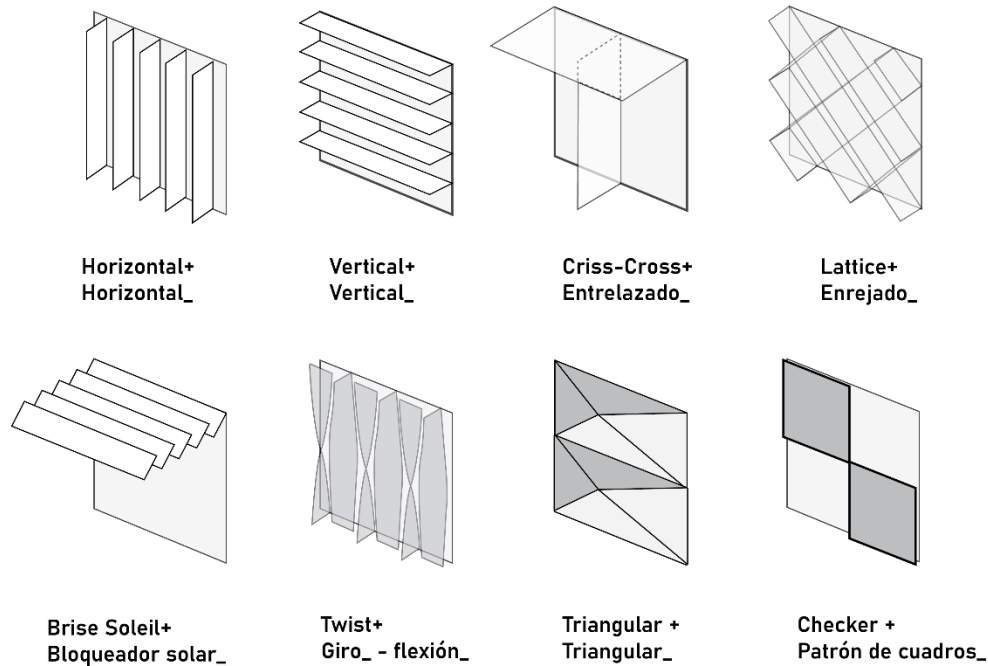
Figura 27
Protecciones pasivas consideradas para esta investigación.



Nota: Las imágenes muestran aquellas protecciones con mejor afinidad para la protección de muros con amplio WWR, imágenes basadas en Herzog et al., (2004)

Dentro de los formatos de protección pasiva, se pudo identificar que aquellos de tipo *Louver* en formato horizontal, funcionan mejor para obtener una iluminación constante y difusa a la vez, dicho formato se puede apreciar en la Figura 28, ya que los que funcionan de manera vertical, tendrían que estar en un ángulo que no permitirían ver al sur, obstruyendo la vista, por otro lado, si este se utilizara en un ángulo recto, permitirá la entrada directa de la iluminación y radiación solar, y aunque este formato si cumpliría con el $sDA_{300/50\%}$, causaría problemas de *Glare* o deslumbramiento al interior de los espacios de trabajo en las horas con mayor incidencia solar directa, una situación que se busca minimizar para mejorar las actividades al interior.

Figura 28
Protectores solares pasivos aplicables al inmueble.



Nota: La opción más viable fue la de protección vertical, no obstante, como ejercicio de diseño, el patrón de cuadros o el formato de bloqueador solar, serian opciones viables manejar microperforados o materiales ligeros. Figura basada en Hemsath y Bandhosseini (2017)

Dentro de los elementos seleccionados para la protección del caso de estudio, se optó por los elementos de protección vertical, esto por ser elementos sencillos que pueden ser modulados y replicados dentro de toda la fachada, no obstante, los elementos que se muestran en la figura anterior pueden ser utilizados en cualquier inmueble, siempre que estén a disposición y se cuente con los recursos económicos para utilizarse.

2.3.OBJETIVO DEL ESTUDIO

OBJETIVO GENERAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Desarrollar a través de distintos procesos de interoperabilidad de archivos de diseño vectorial y tridimensional, un procedimiento que permita mejorar los parámetros de confort lumínico al interior de los distintos espacios de trabajo en inmuebles educativos con orientación crítica de fachada principal, a través de la implementación de elementos de protección pasiva elaborados a partir diseño generativo supervisado utilizando la metodología BIM y sus diversos procesos de interoperabilidad.

OBJETIVOS PARTICULARES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- Diseñar mediante algoritmos evolutivos aquellos parámetros que permitan resolver las envolventes arquitectónicas y elementos de protección pasiva, generados a partir de programación visual y herramientas propias de los programas de simulación lumínica.
- Generar una propuesta en los espacios de estudio que permita mantener rangos dentro de los 300 a 3000 lux, de acuerdo con las *nuevas métricas de medición relacionadas a iluminación natural* para evitar el *Glare o deslumbramiento directo sobre superficies de trabajo* en las distintas áreas interiores.

2.4. DEFINICIÓN DE ALCANCES

El tema a desarrollar dentro de esta investigación, busca la exploración y diseño generativo mediante la aplicación de algoritmos evolutivos supervisados, tomar en cuenta aquellos factores que deben ser considerados para la elaboración y desarrollo de envolventes arquitectónicos, así como elementos de protección pasiva a partir del uso de simulaciones lumínicas ambientales en inmuebles existentes o en etapa de diseño, basados en el uso de un conjunto de reglamentos, normativas y estándares nacionales e internacionales para brindar al interior los distintos espacios trabajo, confort lumínico y visual al usuario (Azhar et al., 2011; Delos Living LLC, 2016; LEED, 2009), obtener una independencia en iluminación natural en espacios de trabajo y estudio, así como beneficios cualitativos y cuantitativos para el usuario, al ser estos de tipo económicos, energéticos, o aquellos relacionados con la productividad y bienestar del usuario en su persona, reflejándose en las actividades diarias que pueda o deba realizar el usuario en dicho espacio.

No obstante, si bien, existen estudios que integran estos temas, no todos se aproximan a la implementación de la metodología *BIM* con simulaciones vectoriales, esto se debe a las metodologías de diseño y simulación utilizadas actualmente, se basan en aproximaciones mediante el uso de un modelo geométrico ortogonal también llamado *simple box model* (AIA, 2019; Jaskiewicz, 2013; Shi y Yang, 2013), dejar fuera aquellos elementos y características particulares de geometrías irregulares que pueda resultar complejos de calcular por la naturaleza orgánica de sus estructuras, caras o pieles de protección de una edificación (Harding y Shepherd, 2017).

En la actualidad, este tipo de consideraciones de diseño aún no son implementadas de manera constante u obligatoria para desarrollo de inmuebles y edificios, ya que muchos diseños son basados en los mínimos requeridos por reglamentos o normativas, las herramientas y elementos aquí empleados y desarrollados esperan traer mejoras y actualización de espacios dentro del ambiente profesional y académico en México y América Latina.

2.5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se pueden implementar las herramientas de programación visual y el diseño generativo, a través de los programas de licenciamiento educativo, hacer más accesible el uso e implementación de nuevas métricas de iluminación que permitan mejorar el confort lumínico ambiental y espacial, lograr una independencia lumínica al utilizar herramientas digitales aplicables dentro de programas de licenciamiento educativo y código libre aplicable a la tecnología BIM facilitar el diseño de envolventes arquitectónicos?

Preguntas Particulares

¿Qué beneficios propone la implementación de la programación visual para la independencia lumínica mediante el uso de envolventes parametrizados dentro de la metodología BIM?

¿Cómo el diseño de envolventes arquitectónicos mediante generativo incide dentro de la autonomía lumínica implementar la metodología BIM?

2.6. HIPÓTESIS

Se considera que la aplicación de un procedimiento basado en diseño generativo a partir de programación visual, permitirá el uso de nuevas métricas para el diseño de iluminación natural interoperable en BIM, esto debido a que con la ayuda de la simulación digital y virtual se pueden identificar y mejorará aquellos parámetros relacionados con el confort lumínico en inmuebles educativos.

2.7. OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio incide en el desarrollo prospectivo, la aplicación e implementación de una guía de trabajo basado en programación visual para el diseño lumínico dentro de espacios interiores e interoperable en la metodología BIM, para aquellos procesos de simulación virtual, basados en formatos tridimensionales, elaborados a partir de un modelo arquitectónico aplicados a un gemelo digital, utilizar distintos elementos desarrollados a partir de algoritmos de programación visual, compuestos por nodos especializados y personalizados al diseño generativo evolutivo supervisado.

Con ello, mejorar los parámetros y procesos de diseño en elementos de protección pasiva, para brindar confort lumínico en espacios de trabajo al interior de distintos inmuebles, a través del diseño de envolventes arquitectónicos. Incrementando la eficiencia en los procesos de diseño e interoperabilidad de archivos y simulaciones de datos lumínicos dentro de los ciclos de trabajo dentro de la metodología BIM.

2.8. IMPACTO POTENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

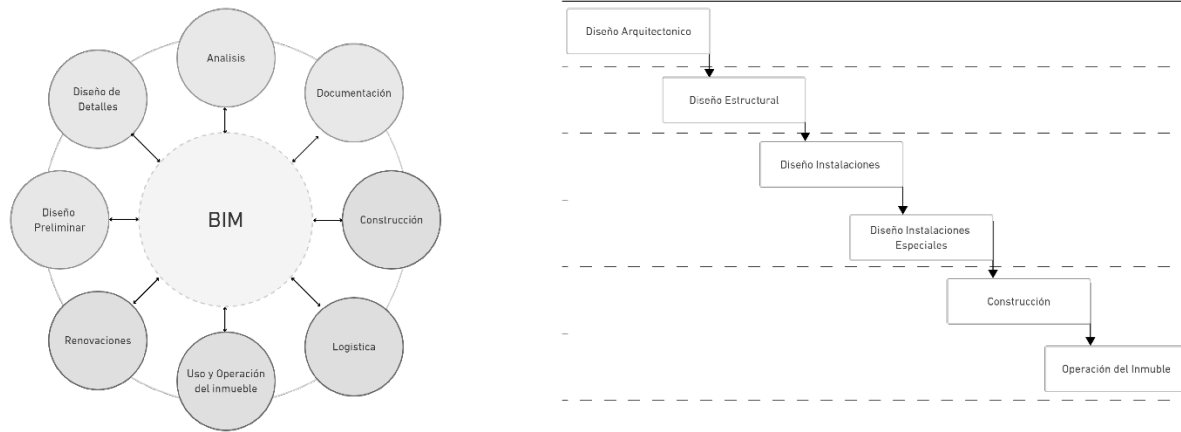
Esta investigación impacta en 3 áreas, la primera de ellas estaría en la academia, la segunda en el ámbito profesional y la tercera dentro de la investigación. Actualmente el desarrollo del diseño arquitectónico en México no cuenta con una correcta regulación multidisciplinaria, la implementación de metodologías de trabajo y la aplicación de herramientas especializadas suelen efectuarse bajo los criterios subjetivos del diseñador ya que se carece de una normativa que implique el uso de *BIM* o un estándar como el ISO-19650 aplicable a modelo y construcción tipo *BIM*, *BEM* y *VDC*.

Si bien existen reglamentos federales, estatales y municipales que señalan las pautas de construcción, o la NOM-025-STPS-2008 que marcan parámetros cuantificables, aún se sigue con la carencia de un documento que reúna elementos para medir confort y productividad, por ende, se omiten el cumplimiento de estándares o normativas aplicables al uso de metodologías completas como el caso de *BIM*, por ello es primordial la implementación de programas digitales, pues dichas herramientas optimizan la elaboración de proyectos y procedimientos en el diseño y análisis de la construcción. Cabe señalar que la incorporación de la metodología *BIM* ha brindado importantes contribuciones dentro de Latinoamérica, así como en el ámbito internacional, lo que contempla un horizonte favorable una vez sea implementada en las distintas jerarquías del panorama nacional mexicano.

Es por esto, que para la correcta implementación de los procedimientos estandarizados como los antes señalados, debemos comprender que la metodología *BIM* implementa distintas especialidades que se integran a un modelo central como lo muestra la Figura 29. Ya que el objeto de estudio del presente trabajo de investigación se centra en el área del diseño lumínico mediante la implementación de herramientas digitales integradas dentro del ecosistema aplicable la tecnología *BIM* como lo mostraba la Figura 5.

Figura 29

Comparativo de formatos de trabajo BIM y tradicionales en la arquitectura.



Proceso BIM para el desarrollo de un proyecto, esta es de manera no lineal.

Proceso tradicional para el desarrollo de un proyecto, esta es de manera lineal.

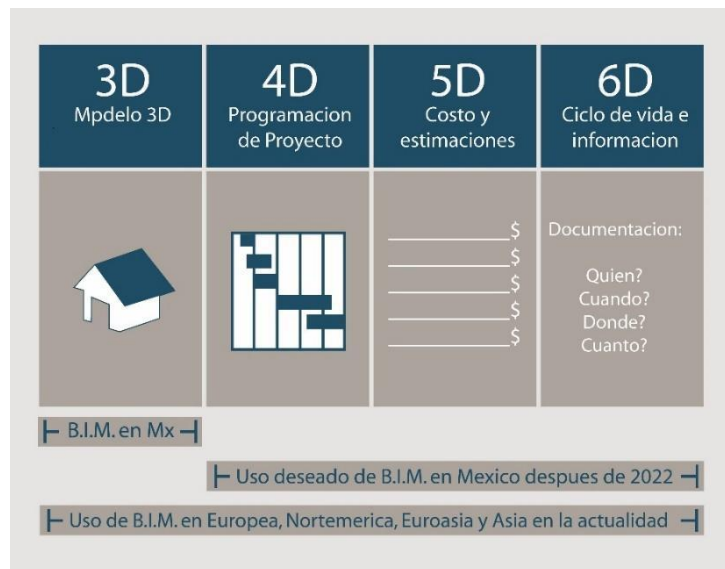
Nota. Dentro de la figura podemos encontrar una comparativa dentro del proceso y desarrollo de un proyecto de manera no lineal aplicando la metodología *BIM*, a la izquierda, el proceso tradicional de manera lineal para el desarrollo de un proyecto arquitectónico a la derecha.

A través del uso de scripts o algoritmos desarrollados mediante programación visual aplicable a nodos o bloques de texto dentro de la disciplina de las ciencias computacionales, específicamente en lenguaje *Python* para aplicaciones como *Dynamo* para *Revit Architecture* o *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D* se puede obtener una interoperabilidad en información tridimensional y vectorial, en esta última integrando *Ladybug Tools*, buscando la optimización y autonomía solar en los distintos espacios de trabajo, a partir del diseño de un envolvente arquitectónico que permita obtener un mayor confort lumínico y visual, así como un análisis de sombras que tenga un impacto positivo dentro de espacios interiores, obtener como objetivo final el uso de Diseño Generativo supervisado en *Galapagos* de *Grasshopper*.

Así pues, formalizar una aplicación generada en nodos que recopile información y esta ser interpretada de manera local en los programas antes mencionados o en su defecto en hojas de cálculo, archivos *.txt*, archivos *.csv*, así como archivos climáticos interpolados. *.epw* y poder exportar archivos *.xml* y *.gbXML*, al ser esta última un formato que permite la transferencia de información guardada dentro de los modelos tridimensionales BIM. aplicado a familias adaptativas dentro del programa de *Revit Architecture* para poder realizar simulaciones en aplicaciones

especializadas tales como *Autodesk Insight* o *Design Builder*, dentro de la Figura 30, podemos apreciar las diferencias entre las características aplicables a la metodología *BIM*, dentro de los procesos de diseño, esta puede llegar a tener hasta 6 dimensiones, no obstante, en México aún seguimos en proceso de implementación del modelado 3D.

Figura 30
Proceso de diseño BIM.



Nota. Basado en los conceptos de PAS 1192 de la presentación de conceptos de Oulton, (2015)

Por último, la intención es delimitar esta investigación en la zona geográfica al Noroeste de México, específicamente en Baja California en la localidad de Valle San Pedro de la Ciudad de Tijuana, por encontrarse ahí la unidad Valle de las Palmas de la UABC y contar con acceso a los inmuebles de dicha unidad en formatos relacionados con *BIM* en distintos niveles de modelado y *LOD*, con la finalidad de obtener una simulación lumínica utilizando los datos climáticos interpolados, a la vez, poder corroborar datos de la zona mediante lecturas físicas de un sitio, lo cual generara un estudio de caso poder realizar un cotejo de datos. y finalmente, poder realizar una propuesta de mejora implementando los programas específicos de *Revit Architecture*, *Dynamo*, *Rhinoceros 3D* y *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D*.

3. CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

“Roughly seven thousand languages are spoken in the world today, and communicating in multiple languages is becoming more and more common. In typography, using multiple languages requires handling different scripts from time to time. Learning how different scripts work, can give us some insight into how writing has developed.”

Pater, (2017)

3.1.CONTEXTO GENERAL

La unidad de valle de las Palmas, de la UABC, se encuentra dentro de los límites del municipio de Tijuana, en el estado de Baja California, a 10 km al norte del poblado con el mismo nombre, 5 km al sur del fraccionamiento Valle San Pedro y 15 Km del municipio de Tecate, la unidad cuenta con 13 edificios, dentro de estos, el edificio F tiene su fachada sur con una proporción de muro – ventana mayor al 95% dentro de las aulas principales de los niveles de planta baja y nivel 01 como se puede apreciar en la Figura 31, al ser indicado por el volumen color blanco y el resto de los edificios con un color translúcido. La ubicación geográfica de la unidad se encuentra dentro de 32°26'0" N y -116°40'30"O, por las características específicas de dicha zona, entra en la categoría de clasificación de la ASHRAE como zona 3B de tipo cálido – seco, con altas temperaturas en verano, bajas temperaturas y temporada de lluvias en invierno, considerando este como clima tipo mediterráneo (ANSI/ASHRAE, 2004; ASHRAE, 2017b).

Figura 31
Volumetría general de Valle de las Palmas

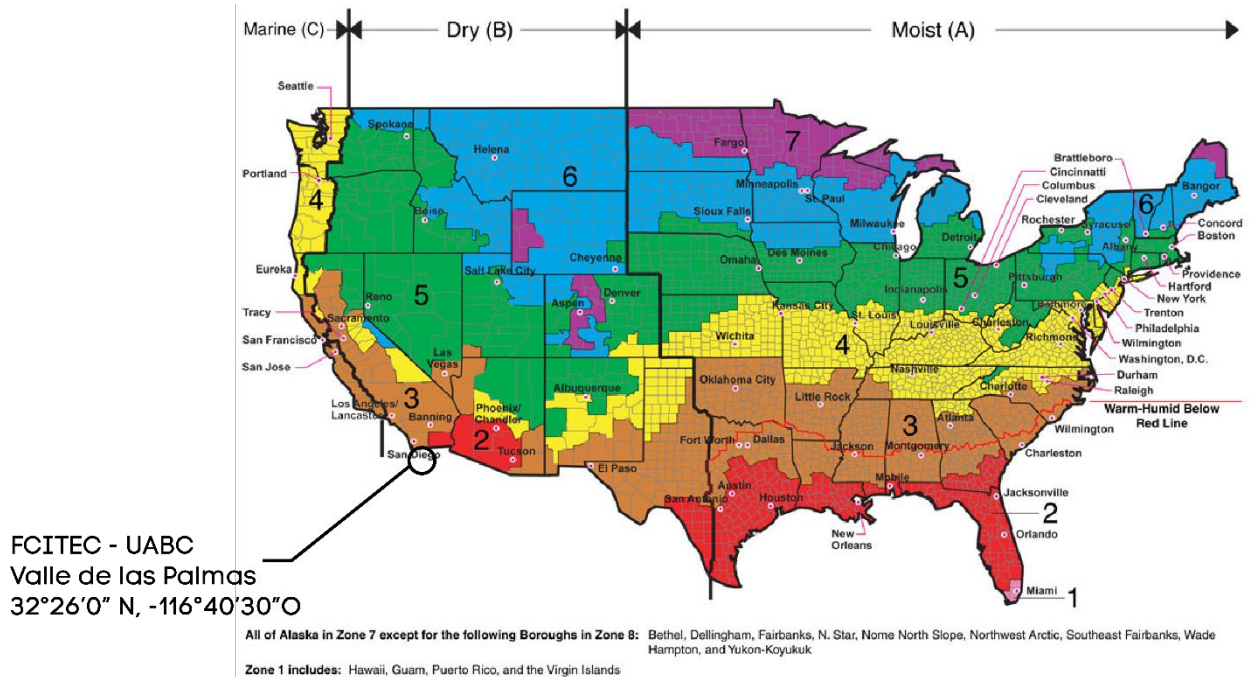


Nota: Visualización volumétrica de los distintos espacios del Campus de Valle de las palmas, el edificio F se indica en masa gris a diferencia de las otras translúcidas. Elaboración propia imagen recuperada de (Google, 2022).

Valle de las Palmas presenta un clima con características áridas, el clima de la zona está caracterizado por ser semicálido seco extremoso , este forma parte del 30 por ciento del área

municipal de Tecate Baja California, ubicación del Poblado de Valle de las Palmas, con temperaturas media anual de 10°C a 22°C y con precipitación pluvial de 300 milímetros anuales (POEBC, 2014; Tecate, 2016). Sin embargo, estos inmuebles fueron diseñados a partir del reglamento de construcción de la ciudad de Tijuana B.C., el cual tiene diferencias en la aproximación de soluciones mínimas para el diseño dentro de espacios educativos, las consideraciones de diseño de espacios fueron pensadas para el clima general de la ciudad de Tijuana, la Figura 32 muestra la ubicación del inmueble respecto a la clasificación de ASHRAE, dentro de esta, se puede observar la variación considerable entre los distintos climas que pueden existir para la clasificación de zonas a diferencia de México.

Figura 32
Clasificación tipo 3B ASHRAE



Nota: La imagen muestra la clasificación por zona basado en ASHRAE *climate map* con indicación de Valle de las Palmas. Adaptado de (Crawley et al., 2020)

La unidad de análisis para el presente trabajo de investigación se llevará a cabo a una microescala, al obtener un contexto general de la zona a nivel regional, y como elemento

particular el edificio F de la FCITEC, dentro del contexto específico las aulas del nivel 01 con exposición al sur tal como se puede apreciar en la Figura 33. Entendiéndose por dicha unidad de medición las cuatro paredes envolventes del espacio, entrepiso, plafón y entrepiso superior, dentro de las paredes envolventes, el muro en fachada sur comprende un 95% de su WWR (*Window to Wall Ratio* o relación de porcentaje entre muro – ventana), buscando una optimización en la iluminación interna con medición en la unidad Lux.

Los criterios de selección para dicho inmueble y sus espacios son enlistados a continuación, para tener una comparativa con otros espacios e inmuebles similares, ya sea dentro de la misma zona o dentro de una zona similar:

- A) La fachada sur del inmueble no cuenta con protección, esto se puede apreciar en la figura donde se muestra un comparativo entre el edificio existente y su gemelo digital, o bien en la imagen superior, representa un levantamiento tridimensional de dicho inmueble antes mencionado.
- B) La relación del espacio respecto a su ventana sur es superior al 95% (WWR) y no cuenta con elementos de protección pasiva o mecánica para el espacio.
- C) Actualmente no cuentan con sistema de aire acondicionado y/o calefacción en el edificio antes mencionado, por lo cual se tienen periodos fuera de confort en los distintos espacios para los usuarios.
- D) La orientación de las ventanas principales lo hacen susceptible a ganancias y pérdidas de temperatura durante todo el año, así como problemas de *Glare* o deslumbramiento directo sobre superficies de trabajo en las aulas al sur del Nivel 01
- E) Solo dos aulas cuentan con una protección-barrera visual sólida de piedra que proporciona sombra todo el año, lo cual puede resultar de beneficio en la temporada de verano, no obstante, en invierno, representa un reto mantener con una temperatura de confort al usuario dentro de dichos espacios.

En base a esto, se propone como una solución una propuesta de envolvente arquitectónico que mitigue principalmente el efecto iluminación directa sobre un espacio específico, lo cual trae como efecto secundario *Glare* o deslumbramiento directo sobre

superficies de trabajo, la cual busca proporcionar un control en la iluminación natural del edificio dentro del horario vespertino donde la iluminación directa traer problemas para el desarrollo de funciones cotidianas, esto a su vez, ayudará a reducir las ganancias térmicas dentro de las distintas aulas donde sean aplicados los elementos para control de iluminación directa, no obstante, cabe señalar que no se busca implementar elementos adicionales relacionados con el control de temperatura, ya que no conforman una parte fundamental dentro de esta investigación, aun así, se consideraron los elementos necesarios relacionados con el confort visual al interior de los espacios.

Figura 33
Representación foto realista del inmueble de estudio.



Nota: Render mostrado en la Figura 33 pertenece a la Fachada Sur del Edificio F, Revit Architecture y Enscape 2.5. Elaboración propia.

La justificación para realizar la selección de uno de los inmuebles de dicha unidad académica, está basado en la existencia de un microclima específico en el área donde se encuentra situada la unidad, los datos se pueden observar dentro de la Tabla 10 aunadas a especificaciones puntuales como: Emplazamiento, Afluencia y fin de la temporada cálida, como se puede apreciar en la Figura 34, sumado a esto, dichos inmuebles fueron diseñados con las características mínimas de protección para el confort de los usuarios, dentro de los elementos no considerados dentro del diseño final se encuentran medios artificiales o mecánicos para mitigar el calor, o bien, elementos de protección pasiva para mitigar la iluminación directa y

minimizar los efectos por deslumbramiento o *Glare* dentro de los espacios de trabajo y/o estudio de las aulas del nivel 01.

Tabla 10
Datos particulares del inmueble

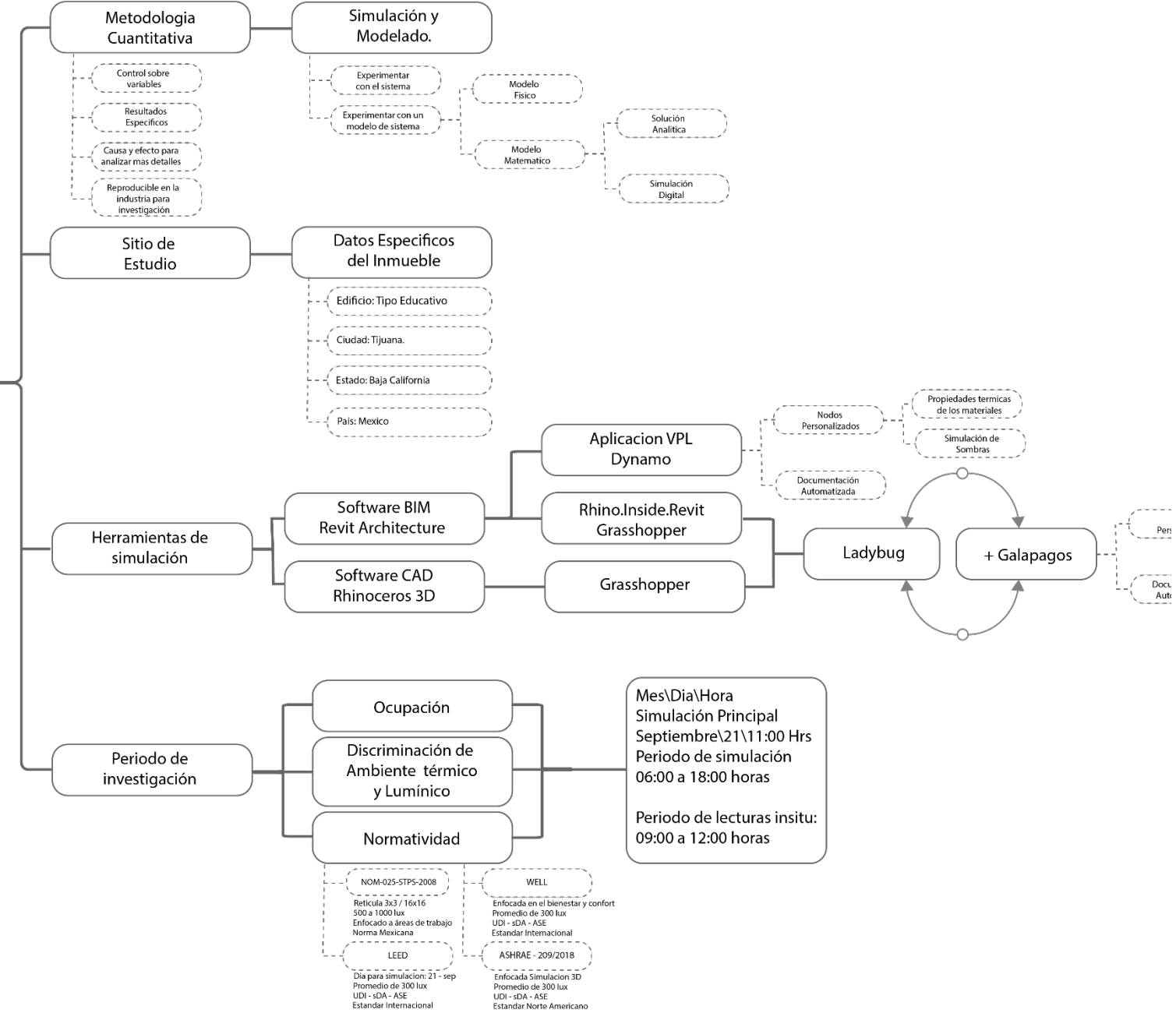
INFORMACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE BASADO EN ARCHIVO CLIMÁTICO INTERPOLADO DE VALLE DE LAS PALMAS	
Información Climática	MX_Valle_de_Palmas_[32_37N_116_65W_294_MSNM]
Latitud	32.37N
Longitud	-116.65W
Elevación sobre nivel del mar	294 m
Información dentro del archivo	Datos recolectados 2000 a 2010
Zona climatica Koppen-Geiger	BSk. Mid-Latitude steppe
Temperatura anual promedio	19.1 c
Temperatura máxima anual	36.1 c
Temperatura mínima anual	4.4 c
Radiación solar horizontal acumulativa anual	2008.21 kWh/m2
Porcentaje de radiación solar horizontal difusa	29.00%
CDD*	1004 (degree days)
HDD*	89 (degree days)
Zona Climática	3 B _ ASHRAE
Características	Cálido – Seco / Mediterráneo

Nota: La tabla anterior muestra aquellos datos ingresados para realizar simulaciones en distintos programas especializados para obtener geometría solar y datos adicionales. Elaboración propia basada en (ASHRAE, 2017a, 2021)

Por su parte, la Figura 34, representa de manera resumida, el esquema metodológico a implementar dentro de este trabajo de investigación, la cual forma parte de una metodología cuantitativa de tipo exploratoria aplicada, basándose en la metodología de simulación y modelado

por la implementación de modelos físicos y matemáticos para realizar simulaciones diversas en los modelos de simulado, a su vez, enmarca el sitio de estudio, con sus especificaciones, muestra las herramientas de simulación, al ser estas de tipo CAD y *BIM*, a partir de estas, se desarrollarían los diversos análisis para generar las propuestas de diseño de elementos para envolventes pasivos por medio de diseño generativo, por último, muestra los detalles para los periodos de simulación, los cuales están basados en las normativas y reglamentos para la consideración de diseño y mínimos requeridos, o en dado caso, aquellos que pueda llegar a provocar un estado fuera de confort en el usuario.

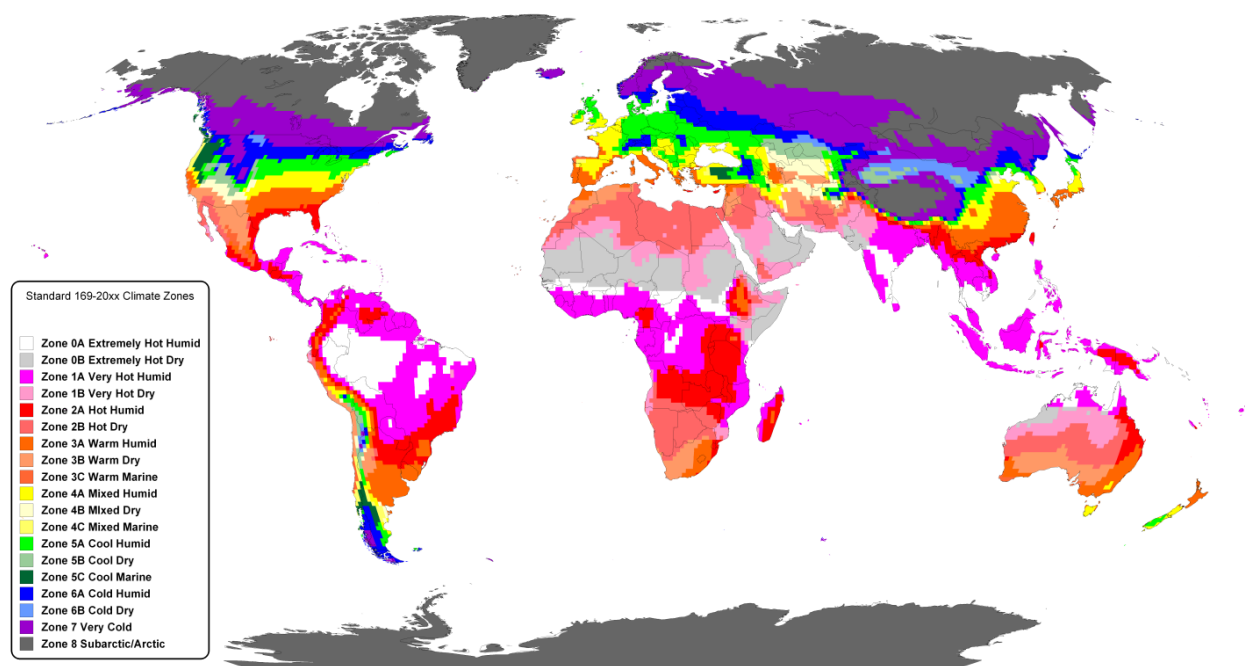
Figura 34
Precisiones metodológicas.



Nota: la figura marca aquellas precisiones metodológicas para el desarrollo de esta investigación. Elaboración propia.

Dentro de la Figura 35, se observa una representación de la clasificación del clima a nivel global, en esta clasificación se encuentran 8 tipos de zonas, donde se pueden encontrar variaciones que dependen de su ubicación geográfica, cercanía al mar, vegetación, entre otras, estas variaciones oscilan entre climas extremadamente calientes y húmedos en Zona 0A, hasta Zonas Árticas o Sub-Árticas en la clasificación de Zona 8. La clasificación está basada en el estándar 169 de la *ASHRAE*, el cual se toma en consideración para los trabajos desarrollados dentro de esta investigación, esto por otorgar mayor información que las 4 zonas que se manejan a nivel nacional y pueden no corresponder en cuanto a microclimas regionales.

Figura 35
Mapa global para la clasificación climática



Nota: La figura muestra los datos de estándar para diseño de edificaciones basado en (ASHRAE, n.d.) como estándar para diseño de edificaciones basado en ANSI/ASHRAE 169-2013 actualizado el 31 de julio de 2020. Recuperado de ASHRAE 169-2013

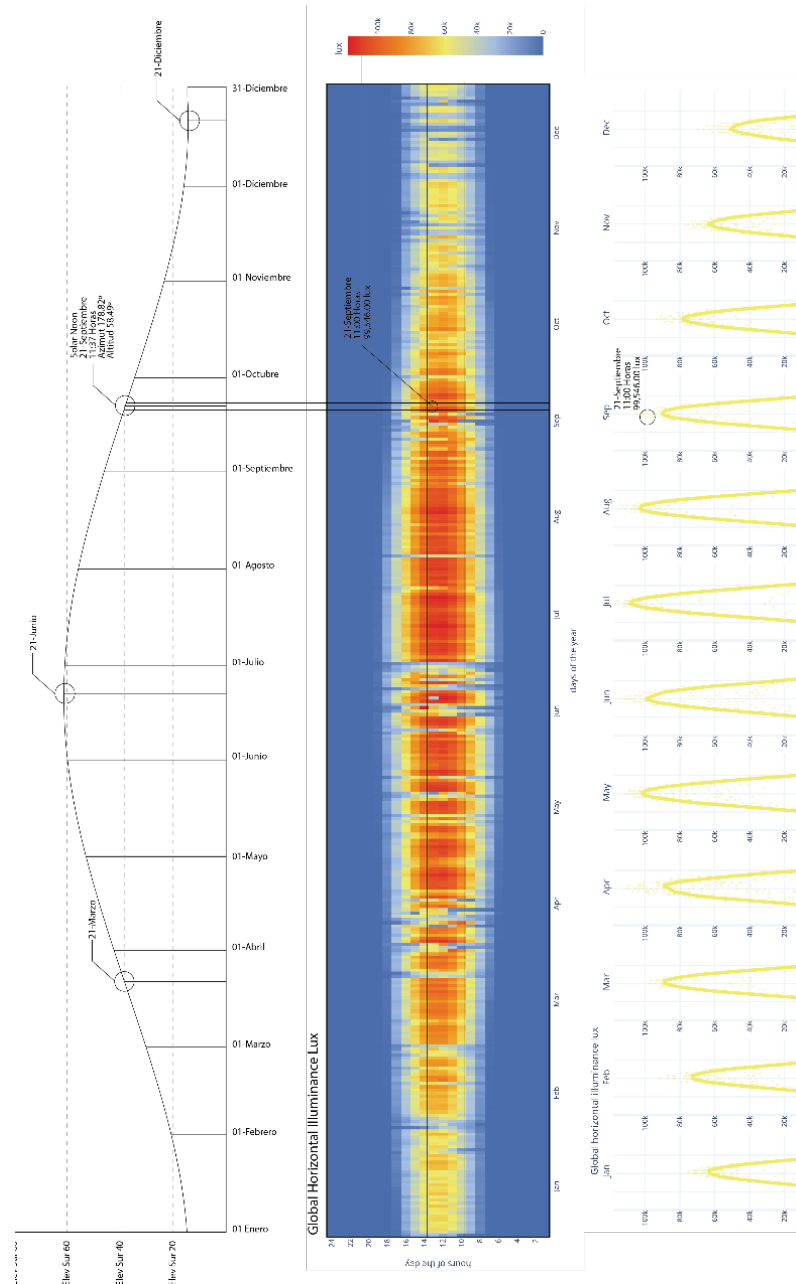
Ahora bien, el periodo seleccionado para llevar a cabo las simulaciones, corresponden día 21 de septiembre, esto basado en el formato para obtener una autonomía solar, según lo estipula *LEED* (2009), a su vez, se consideran los siguientes factores: este mes representa el inicio del

semestre 2 o de Verano – Otoño, a lo cual tiene dos particularidades, la temperatura en verano representan las temperaturas más altas registradas de manera anual en el mes de Agosto y Septiembre, las altas temperaturas se concentran en los horarios vespertinos, pasando el mediodía solar, no obstante, en el horario matutino se registran los valores más altos de iluminación directa sobre las superficies de trabajo, por lo tanto, durante el periodo matutino es necesario proteger los espacios de diversas zonas, en el caso de los espacios indicados para esta investigación, por su orientación Sur-Sureste.

La Figura 36, muestra un ejemplo de día seleccionado para el desarrollo de simulaciones a partir de las variables climáticas más relevantes, dentro de los elementos que se muestran, en la parte superior indica una gráfica lineal donde se puede apreciar la elevación máxima al sur en un periodo anual, a la vez, muestra una gráfica o mapa de calor, indicando el día 21 de septiembre a las 11:00 horas, donde se puede obtener una lectura *Global Horizontal* de hasta ~99,500 lux, misma cantidad puede obtenerse en las lecturas de gráficas diarias como se observa en la figura inferior, la cual muestra una lectura de promedios mensuales y entre los puntos correspondientes a las 11:00 horas, las lecturas del archivo climático interpolado pueden llegar a los ~100,000 lux.

Figura 36

Delimitación del periodo de simulación a partir de Gráficas Iluminación Global Horizontal y periodo señalado por LEED V4



Nota: Estas gráficas muestran de manera puntual, los valores obtenidos del archivo climático en relación a la iluminación puntual para el día 21 de septiembre a las 11:00 horas.

3.2. METODOLOGÍA

El elemento principal de la metodología implementada dentro de esta investigación va encaminado a evitar que existe solo un formato para obtener un resultado, buscando evitar el cerrar el dialogo o argumentos enfocados a una sola respuesta y decir que esta es la correcta. Las siguientes paginas se basan en varios métodos y sus resultados, buscando proporcionar información amplia sobre el o los temas desarrollados, y si bien el trabajo cuenta con muchos tecnicismos y la mayoría de estos son en idioma inglés, esto debido a que el material consultado, tanto estándares de construcción y diseño, libros o artículos especializados, estaban en ese idioma, otro de los motivos fue porque la mayoría de los códigos utilizados e implementados en *C#* o *Python*, no funcionan en español, por tal motivo se utilizaron anglicismos o palabras sin traducción.

Por otro lado, cabe mencionar que para aquellos usuarios que son nuevos dentro del desarrollo de modelos energéticos, la metodología implementada dentro de esta investigación podría facilitar un formato replicable de trabajo, ya que este se basa en la metodología de simulación y modelado, la cual se dividió en dos partes, la primera basada en un trabajo teórico-documental y la segunda, en actividades relacionadas con elaboración de modelos matemáticos y tridimensionales para simulaciones, dentro de esta segunda etapa, se considera la actividad de campo mediante la cual se realizó el levantamiento del Edificio F de la FCITEC implementando la metodología *BIM* en combinación con los puntos solicitados en el estándar 209-2018 de la *ASHRAE*, la cual obedece a los nuevos procesos de tecnología en la construcción. Esta permite llevar un control sobre todos los procesos, desde la fase de diseño hasta el control de ciclo de vida de un edificio, uno de los principales avances en el diseño arquitectónico y la construcción (Farzaneh et al., 2019; Overbey, 2018).

A su vez, el enfoque principal de la investigación para el método de simulación y modelado, cuenta con técnicas que nos permitan la implementación de las nuevas métricas dinámicas sobre iluminación como la de autonomía espacial de la luz de día (*sDA*) y la de exposición anual a la luz (*ASE*) que no abordan directamente a un consumo energético en los espacios de trabajo y busca evitar que los espacios utilicen iluminación artificial en los periodos diurnos, esto se busca obtener mediante instrumentos o herramientas necesarios y verificar a partir de indicadores, implementando la metodología de *ConfortCover* desarrollada por medio de

nodos personalizados dentro de *Dynamo* y *LadybugTools* en el entorno de *Grasshopper*, bajo el esquema de *Toolkit*, o caja de herramientas, la cual permite obtener datos climáticos apoyados en gráfica, simulaciones y esquemas de visualización (Mackey y Roudsari, 2018), dando la opción a exportar datos a los instrumentos para mejorar las prácticas necesarias para el desarrollo de este trabajo con el apoyo de la aplicación *Rhino.Inside Revit*.

De igual forma, se tomaron en cuenta los elementos necesarios de la metodología de diseño para modelos tridimensionales implementada en aquellos procesos de interoperabilidad para el desarrollo de nuevas edificaciones o ya existentes, que están implementados por la *AIA*, *ASHRAE* y *WELL* (AIAU-AIA, 2020; Delos Living LLC, 2016; J. E. Lee et al., 2018; Overbey, 2018) es importante destacar que estos son parte de la aceleración de procesos digitales de información y comunicación entre tecnológicas (ICTs). Por medio de estos, se busca transformar las nuevas métricas de iluminación en unidades de energía que sean incluidas en la toma de decisiones para arquitectos involucrados en las primeras etapas de diseño. Ya sea a partir de la simplificación de cálculos o bien, mediante la implementación de algoritmos evolutivos que permitan obtener las mejores opciones según las limitaciones de diseño, ubicación geográfica, orientación o presupuesto.

Así pues, debido a que las métricas de iluminación dinámicas propuestas son relativamente nuevas, la información actual disponible para los diseñadores que inician con este tipo de estrategias de diseño es escasa, y los expertos en computación pueden obtener ventajas sobre aquellos que se aventuran en este tipo de formatos, sin embargo, se enfrentan gradualmente al problema de que las métricas de iluminación dinámica empiezan a implementarse en los nuevos reglamentos y estándares para acreditación con mayor frecuencia en el medio. Un ejemplo reciente es el trabajo del equipo de Mostapha Sadeghipour Roudsari y Chris Mackey, los cuales desarrollaron en un inicio *LadybugTools* (Roudsari, 2017).

A este compendio de aplicaciones forman parte de un ecosistema que permite realizar simulaciones termo energéticas, las cuales van desde iluminación, temperatura, dinámica de fluidos y variantes que han encontrado los usuarios, no obstante, su evolución natural, hizo que migrara a un sistema de servicio en la nube o *Cloud Services*, llamado hoy en día *Pollination*, el cual está dirigido a la industria de la construcción o AEC (*Architecture, Engineering and*

Construction Industry por sus siglas en inglés) y pasa a ser un servicio completo similar a los que pueden conseguir con programas de alto licenciamiento, ya que este puede solucionar aquellos problemas que encontramos al sincronizar los cálculos que recomienda utilizar una nueva métrica para la usuarios académicos, profesionistas o despachos especializados (M. Roudsari y Mackey, 2018).

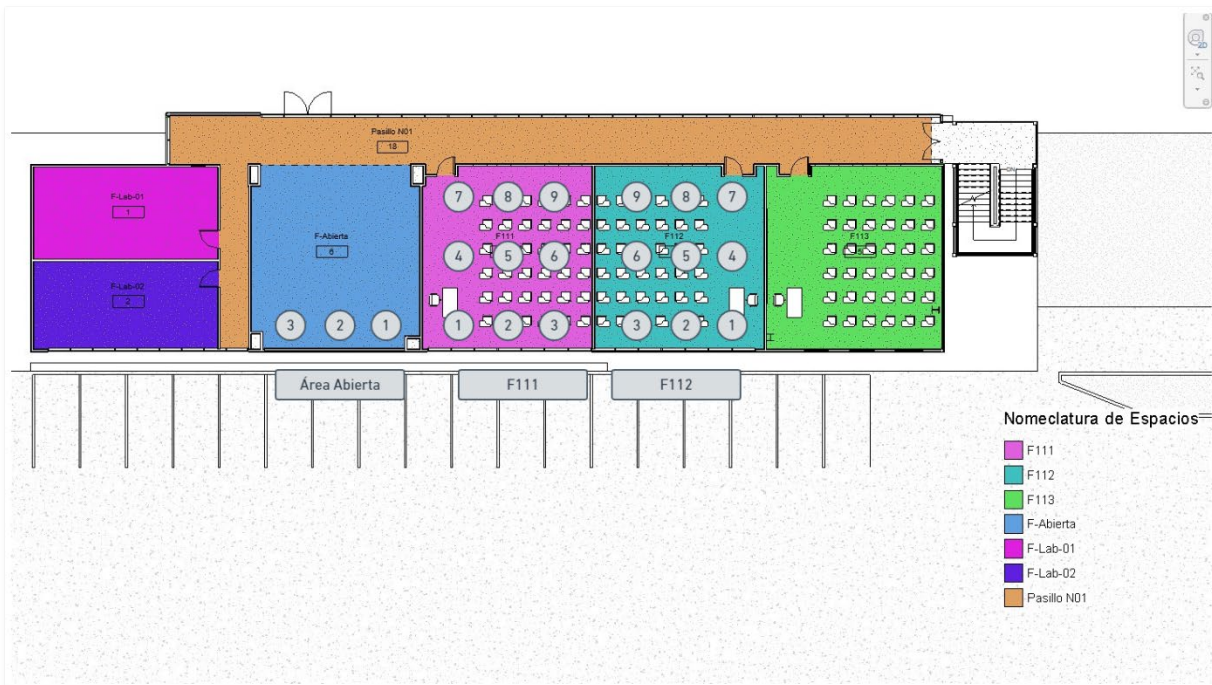
Si bien, la brecha en el conocimiento existente (es decir, un método de sincronización resultados térmicos y de iluminación) puede certificar soluciones esenciales como elaborar una nueva métrica cuantificable como las unidades relacionadas con lecturas de radiación solar, esta nueva metodología aún deja indeterminada la transformación de aquellos formatos de medición o métricas de iluminación natural a unidades de energía. En otras palabras, reasignar y agregar los resultados del cálculo térmico (métrica o medición de energía) y el cálculo de iluminación (valor porcentual o relacionado en porcentajes) no es preciso y no refleja el rendimiento real del edificio.

Este movimiento de métricas de iluminación a métricas de energía incluye más suposiciones y decisiones que siguen sin discutirse ni resolverse, ya que es en años recientes donde se ha buscado la implementación de estos nuevos formatos de medición en nuevas edificaciones o aquellas ya existentes, un ejemplo es la simulación específica al 21 de septiembre a las 11:00 horas, 13:00 horas o 15:00 horas, pensando que esto puede auxiliar al diseño de las mejores o peores condiciones, esto según el Consejo de Construcciones Verdes (ecologías) o bien *USGBC (US GREEN BUILDING COUNCIL* por sus siglas en inglés) en las métricas utilizadas en la *LEED V4 sDA y ASE*, ya que la implementación de ambas métricas pueden llevar a la toma correcta de decisiones.

EL primer paso fue realizar un levantamiento conceptual del edificio F como parte del trabajo de campo, el cual consistió en tomar fotografías y elaboración de croquis de forma manual, indicando medidas generales para el desarrollo de la volumetría inicial, la cual mediante el proceso de *simple box model* (AIA, 2019; Jaskiewicz, 2013; Shi y Yang, 2013) buscó la aproximación de las masas volumétricas para que un proceso arquitectónico sea llevado a un LOD 300 en algunas zonas y a 350 en aquellos espacios donde se realizarán las simulaciones como puede observarse en la Figura 37, considerando materiales, colores y texturas dentro y

fuera del inmueble, con la finalidad de realizar las simulaciones pertinentes y aplicar los procesos de diseño generativo para la elaboración de los elementos de protección sobre la fachada sur bajo la metodología *Digital Twin* o Gemelo Digital (Scheifele et al., 2019).

Figura 37
Puntos de lectura basados en la NOM-025-STPS-2008



Nota: La figura anterior nos muestra los puntos de lectura dentro del Nivel 01, Edificio F, Puntos de medición señalados dentro de los distintos espacios con incidencia crítica durante distintos periodos del año basado en la NOM-025-STPS-2008.

Se obtuvieron mediciones de iluminación capturando datos el 21 de septiembre de 2021 o equinoccio de otoño, por su similitud con el equinoccio de primavera, con la finalidad de empatar los criterios para *sDA* de la opción 2 propuesta por *LEED* (2009) dentro de su apartado de *Daylight* para regular y o reducir el *Glare* o deslumbramiento y apoyar en el control del ritmo circadiano, al reducir el uso de iluminación artificial e introducir la mayor cantidad de iluminación natural, buscando una autonomía en laminación o $DA_{300/50\%}$ dentro de los parámetros de 55% a 75% y un $sDA_{300/50\%}$ (Delos Living LLC, 2016; LEED, 2009; Reinhart y Wienold, 2011) otra de las consideraciones en esta fecha precisa, se debe a la poca variación de grados dentro de la altitud

y el azimut dentro del medio día solar, no obstante, el 21 de septiembre marca la salida del periodo cálido para iniciar el periodo invernal, por ende, aún existen días con cambios de temperatura que pueden alcanzar un máximo de hasta 35 grados en día soleado y una mínima de hasta 10 grados en día nublado en el medio día solar. Dichas mediciones fueron realizadas dentro y fuera del edificio seleccionado, al ser los siguientes puntos:

- Estacionamiento
- Planta Baja (Espacio de avión Cessna)
- Nivel 01. Aula F111 y F112

Dentro de los distintos espacios donde se tomaron lecturas, se colocaron nueve puntos de medición en cada uno de ellos, solo varia el mobiliario interior, el horario de medición *in situ* fue entre las 10:00 horas y las 14:00 horas, horario donde el rango de incidencia solar es mayor dentro de los espacios antes señalados, esto relacionado con las lecturas de la iluminación natural, donde se utilizó un luxómetro Modelo LX1020BS y otro ALPTHY modelo MT-912, para la toma de temperatura en superficies y espacio, se utilizó una cámara térmica compacta marca FLIR modelo E50, ya que fueron las herramientas que se tuvieron al momento de poder desarrollar los levantamientos y mediciones en sitio por las condiciones específicas a la Pandemia por COVID-19, el cual no permitió desarrollar de manera continua el proceso antes mencionado.

La retícula implementada se basa en los datos obtenidos para un espacio de 9.00 m x 9.00 m, según lo que estipula la NOM-025-STPS-2008, y tener una division espacial para 9 sensores o espacios de lectura, la Tabla 11 nos muestra una comparativa entre aquellas lecturas obtenidas en sitio y las que proporciono la simulacion espacial.

Tabla 11

Valores de espacio con lectura en sitio y simulación.

Lecturas In Situ -11:00 Horas						Simulación – 11:00 Horas s/protección					
X1	43,930	X2	47,770	X3	45,360	X1	49,105	X2	49,230	X3	48,6874
X4	1,587	X5	1,920	X6	1,850	X4	1,511	X5	1,768	X6	1,443
X7	650	X8	720	X9	680	X7	760	X8	879	X9	737

Nota: los valores proporcionados en la Tabla 11 corresponden al Aula considerada para el caso de estudio, dentro del apartado de apéndice se anexan fotografías de las lecturas en sitio.

Preparativos.

En general, la presente investigación busca obtener los datos con mayor similitud posible entre los resultados de *sDA*, *UDI* y *ASE*, la definición de los aspectos de estas métricas puede ayudar a reforzar los sistemas actuales para simulación espacial en temas relacionados con iluminación.

Dentro de las simulaciones virtuales que fueron desarrolladas se contempló un periodo de análisis de las 06:00 hasta las 18:00 horas, con la intención de visualizar los datos de manera ascendente desde las primeras horas del día donde se registra iluminación, ya que de apegarse a las directrices que indica el apartado de lectura *LEED v4*, el horario para la simulación sería entre las 08:00 horas a las 15:00 horas, con variaciones específicas según el tipo de inmueble y las características del mismo (LEED, 2009; Nabil y Mardaljevic, 2006), a su vez, contar con un horario más extenso en la simulación virtual permitió obtener las gráficas resultantes de dichas simulaciones.

La categoría aplicable al modelo arquitectónico, se considera como mediana, esto según las categorías analizadas por parte del departamento de energía de Estados Unidos que están designadas a prototipos o elementos a simulación de espacios generales, dichas categorías pueden apreciarse en la Tabla 12 según la información de la DOE (2022).

Tabla 12
Categorías típicas de espacios evaluados en simulaciones.

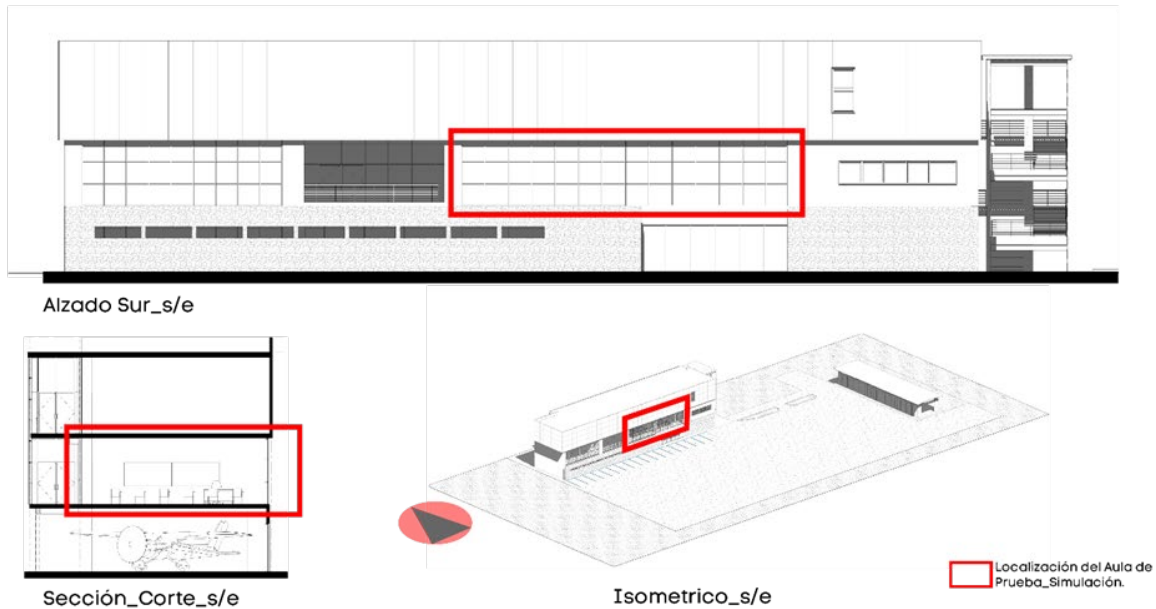
Medida	Área (ft ²)	Área (m ²)	Altura de piso (m)	Número de pisos
Pequeña	5,000	464.50	3	1
Mediana	50,000	4,645.10	4	1-3
Grande	500,000	46,451.50	5	1-12

Nota: Las medidas expresadas en la tabla anterior, se basaron en información proporcionada por la DOE (2022).

Para el clima, se generó un archivo climático interpolado dentro del programa de *Meteonorm*, utilizando la información de los aeropuertos cercanos al sitio. Este detalle surge ya que FCITEC se encuentra en una zona con características de Valle y con una altitud de ~300 m sobre el nivel del mar, generando un micro clima específico, el cual no tiene relación con las bases de datos de las estaciones meteorológicas cercanas. El inmueble se encuentra ubicado en la periferia del municipio de Tijuana, Baja California, justo en la colindancia entre Tecate y Tijuana, dentro de este, las características de la zona son de Valle con elevaciones que tienen material rocoso expuesto tipo granito, a su vez tiene condiciones climáticas semi desérticas, en su temporada de verano puede llegar a registrar hasta 40°C, y por el invierno, puede llegar a temperaturas de 0°C.

Para el desarrollo de los elementos geométricos o geometría del inmueble, el modelo fue desarrollado mediante el programa de *Revit Architecture*, generando un modelo *BIM* y se obtuvieron las gráficas de asoleamiento, posterior a ello, fue la implementación del programa vectorial *CAD Rhinoceros 3D*, este permite usar la aplicación de *LadybugTools* para *Grasshopper*. En conjunto con estas aplicaciones especializadas, se implementó de forma constante *Dynamo*, *Grasshopper* y *Rhino.Inside*, lo cual permite la interoperabilidad dentro de los programas, y dar seguimiento en el lenguaje interno de las formas geométricas digitalizadas, por último se implementó también las aplicaciones de *Elefront* y datos .csv, dentro de *Ladybug Tools*, fueron utilizadas las aplicaciones de *Ladybug* y *Honeybee* para las simulaciones y gráficas especializadas, no obstante, se recurrió al uso de volumetrías simplificadas y esquematizadas para realizar una presentación sencilla de los espacios, tal lo muestra la Figura 38, la cual mezcla una proyección de planta arquitectónica dentro de Revit y un isométrico esquematizado dentro de *Rhino 3D*.

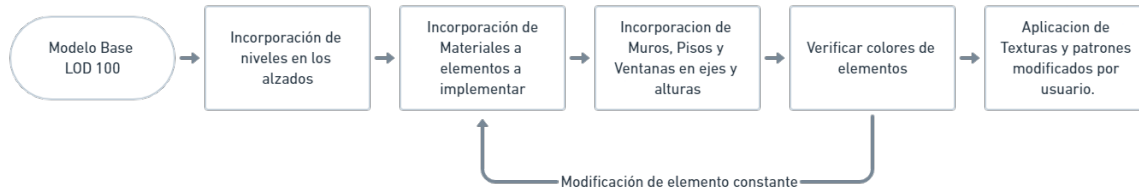
Figura 38
Selección de espacio para el desarrollo de simulaciones.



Nota: Dentro de la figura se puede apreciar el espacio donde se realizarán las simulaciones de trabajo empleados dentro de esta investigación.

Para el desarrollo general de la volumetría del inmueble y posterior a ello, el gemelo digital, se requirió un levantamiento arquitectónico in situ, ya que no se cuenta con acceso a los planos arquitectónicos del edificio, este tipo de detalles se puede llegar a presentarse en cualquier proyecto, por ello se realizó una propuesta para la elaboración de un modelo *BIM* como lo muestra la Figura 39, en esta se muestra un bucle de pasos, hasta no estar verificados la mayoría de los materiales y elementos, se propone pasar a colocar e indicar texturas y patrones dentro del modelo en *Revit*, con la finalidad de identificar puntos terminados.

Figura 39
Propuesta de elaboración de modelo BIM.



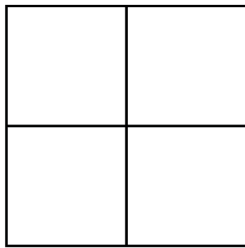
Nota: La figura anterior nos muestra el proceso de elaboración del modelo para esta investigación. Adaptado de Smith (2007) Elaboración propia.

Dentro de este proceso, pueden ser representados todos los elementos necesarios para el desarrollo de una simulación, considerando dentro de la geometría espacial en el proyecto *BIM* digitalizado. Se procede a generar el cálculo de una retícula espacial con la finalidad de conocer la cantidad de sensores virtuales que serán requeridos, y con ello, considerar la cantidad de información que será evaluada por cada corrida o simulación posterior, dicha información puede ser consultada en la Tabla 18.

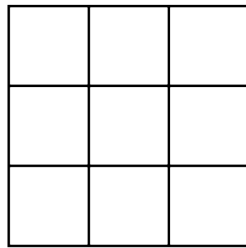
Dentro de los elementos considerados para el desarrollo de la simulación, se encuentra el periodo de análisis, este indica que deberá ser el día 21 de septiembre como se menciona al inicio de este apartado, no obstante, el cálculo se basa en la información de una jornada de trabajo desde las 08:00 horas hasta las 18:00 horas, considerando 10 horas de trabajo por espacio, el resultado general de la operación solicitada es de 3,650 horas. El formato original excluye a diversos tipos de inmuebles por el tipo de horarios y calendarios que pueden llegar a manejar, entre estos aquellos relacionados con instituciones educativas o bien, edificios con actividades no relacionadas con oficinas o espacios de trabajo (Rockwell, 2020), dicha información deberá ser visualizada en retículas espaciales, las cuales deberán indicar con una gama de distintos colores, la información de los porcentajes mínimos y máximos, según sean los m² que se tenga por espacio, la Figura 40 muestra la cantidad de puntos de medición, esto según la constante que se obtiene como resultado de los datos que son evaluados dentro de la NOM-025-STPS-2008, o bien, de la evaluación para obtener datos porcentuales según las métricas de *sDA* y *ASE*.

Figura 40
Reticulas de simulación según los m² espaciales.

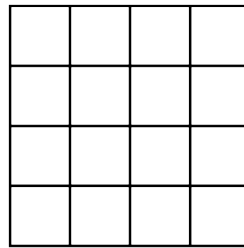
Reticula basada en datos de la NOM-025-STPS-2008



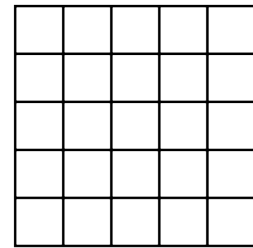
Constante <1
Reticula 2 x 2



Constante 1 y <2
Reticula 3 x 3

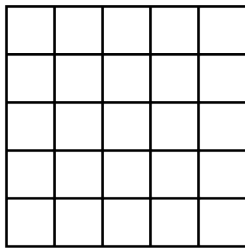


Constante 2 y <3
Reticula 4 x 4

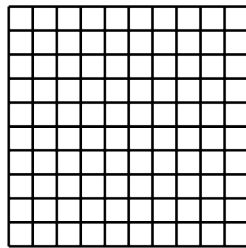


Constante ≥1
Reticula 5 x 5

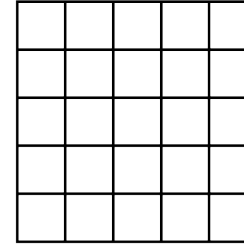
Reticulas propuestas para sDA y ASE.



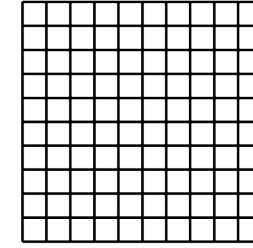
sDA
Reticula 5 x 5



sDA
Reticula 10 x 10



ASE
Reticula 5 x 5



ASE
Reticula 10 x 10

Nota: Las retículas dentro de la figura, pueden tener distintas variaciones y se deberá buscar la mejor opción para superficies irregulares.

Esta metodología de trabajo permite la manipulación de variables independientes, con ello, observar sus efectos dentro de aquellas variables dependientes con la finalidad de poder visualizar los cambios en tiempo real. A su vez, los procedimientos estarán basados en la metodología de la *ASHRAE* en su estándar 209-2018, el cual describe los formatos para aplicación de información, elaboración de modelo tridimensional, obtención de datos e interpretación de datos, también, se estará utilizando el estándar de la *AIA*, *Architect's Guide to Building Performance*, donde se relaciona el procedimiento para representar los datos obtenidos en tablas y gráficas de orientación, masas volumétricas, geometría solar, iluminación natural, envolventes y confort, al ser de este tipo de simulaciones, lecturas individuales (AIA, 2019).

Por lo tanto, basado en los criterios de interpretación de datos y validación de resultados, se utilizarán las medidas mínimas de iluminación del estándar de *LEED* aplicables a confort térmico, iluminación interior y de luz natural, ya que estas contienen distintas variables, esquemas y requerimientos mínimos para aprobar la validación de datos para otorgar puntos de estos

estándares (P. H. Chen y Nguyen, 2019; Edwards et al., 2019) y aquellas aplicables a centros de trabajo según la Secretaría del Trabajo con la NOM-025-STPS-2008 (STPS, 2008).

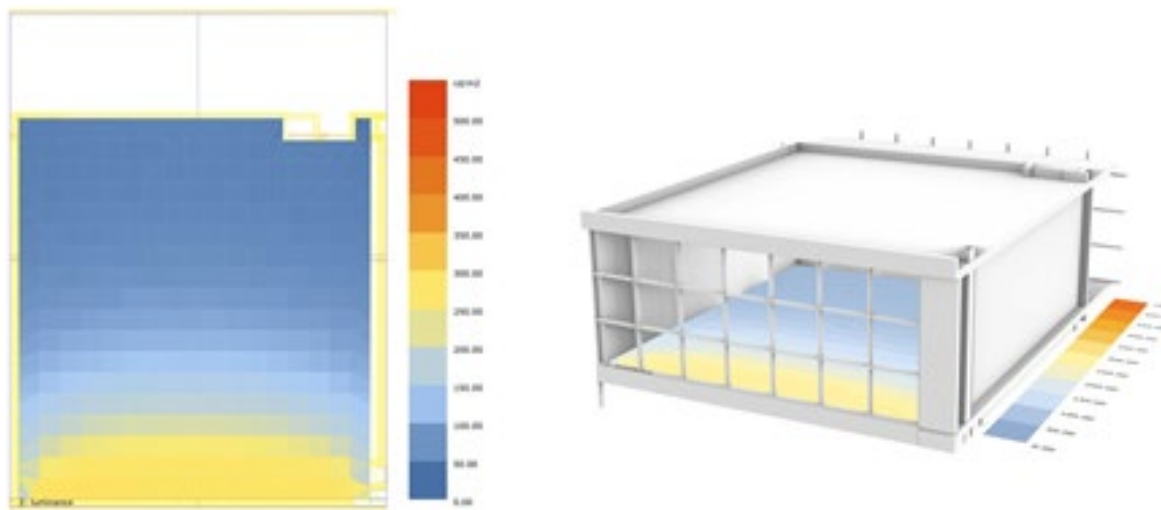
Debido a esto, para indagar en los procesos metodológicos de diseño, ya sea análogo, computacional o generativo y elaboración de simulaciones digitales para esta investigación, se debe tener en cuenta que los antecedentes de este tipo de disciplinas cambian constantemente. Primero, se debe entender que los procesos de modelado tradicional o análogo, son aquellos utilizan un conjunto de instrucciones para producir y reproducir un resultado modelo. El modelo o los modelos, pueden tener resultados muy variados, hablando en un contexto arquitectónico, este puede variar por los conocimientos del modelador o diseñador, las herramientas que domina, el entorno, educación, entre otros aspectos que involucren a su vez técnica y un ojo crítico.

Para ello, la geometría dentro de un contexto de diseño análogo, puede seguir un elemento genérico, general y puede referirse a un objeto tan simple y abstracto como un punto en el espacio no explícito, o complejo como una colección de espacios, envolventes, volúmenes espaciales o elementos específicos de partes que pueda o deban ser construidas en un taller o en sitio. Independientemente de su máxima expresión, el resultado de un modelo elaborado de manera tradicional o análoga, puede ser reconocido por su formato expresado de manera manual, utilizando bosquejos libres o la interpretación de un formato en papel, y hacer uso de lápiz, tinta o marcadores permanentes.

Por el contrario, las técnicas de modelado digital, permiten obtener resultados directamente desde un programa de cómputo, ejecutando una serie de comandos proporcionados por el modelador o diseñador, esto implica el uso de un programa *CAD* o *BIM* para crear objetos digitales hacen el uso de elementos como líneas y curvas, que a su vez pueden llegar a formar superficies, las cuales, al ser manipuladas formarán volúmenes, a los cuales se podrán aplicar texturas en dos dimensiones (2D) o para representación fotorrealista en tercera dimensión (3D). Para la implementación de este tipo de modelos, se requiere tener un conocimiento en técnicas de dibujo tradicional para poder expresar y manipular de manera directa las geometrías, planos e interpretación geoespacial, entre otras. Llegado este punto, el modelador o diseñador, estaría listo para realizar un proceso de instrucciones que se traducirán a un algoritmo que, a su vez, puede producir una serie de geometrías de diseño que pueden ir de lo sencillo a lo complejo.

Por lo tanto, para una aplicación efectiva de las métricas antes mencionadas, se deberán realizar ciertos procesos que involucran programación visual, este formato de representar la información por medio de gradientes de color o colores, puede ayudar a proveer un estilo más sencillo y claro de presentar la información tanto en formato bidimensional, como en representación tridimensional, presentando desde aquellos puntos o segmentos que cumplan con los 300 lux, o indicar aquellos que estén por debajo de este valor o muy por encima. Permitir obtener representaciones como lo muestra la Figura 41, la cual forma parte de los primeros WIP que se trabajaron para esta investigación.

Figura 41
Representación en croma de colores de planta y volumen



Nota: La Figura 41 muestra una de las primeras aproximaciones de representar el *sDA* dentro del inmueble, se puede apreciar la planta y una sección del edificio. Los colores en la planta y volumen corresponden a los que vienen por defecto dentro de *Ladybug Tools*.

3.2.1. RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN

La recolección de datos e información necesaria para este trabajo de investigación dentro de esta fase de metodología y experimentación, será mediante la recolección de datos *in-situ*, así como aquellos provenientes de literatura especializada, manuales, reglamentos y estándares aplicables a esta investigación, así como datos climáticos interpolados para el desarrollo de las simulaciones virtuales y digitales con la finalidad de obtener los criterios de medición basados en medidas internacionales. Respecto a la medición y recolección de datos, se utilizaron herramientas graduadas como luxómetro digital (*Light meter MT-912*) con sensor de temperatura integrado, termómetro digital de amplio rango (*Perfect time TM0300*) como se muestran dentro de la Tabla 13, así como los programas de *Revit Architecture* y *Rhinoceros 3D*, dentro de estos se utilizaron a su vez las aplicaciones de *Dynamo*, *Rhino.Inside* y *Grasshopper*, con las extensiones de *Python script*, tanto para los estudios de sombra, como aplicaciones puntuales.

Por su parte, el uso e implementación de la metodología *ConfortCover* permite la aplicación y modificación de nodos para el desarrollo de scripts la cual denomina *Toolkit*, utilizando herramientas estadísticas, instrumentos de medición, software especializado en simulaciones digitales y virtuales. Aportando datos complementarios para ser incorporados dentro de distintas herramientas que carecen de datos para el diseño de confort térmico en exteriores e interiores, o aquellos datos requeridos para el desarrollo del diseño lumínico dentro de las etapas tempranas en los elementos a desarrollarse desde cero, o complementar la situación actual de los distintos inmuebles ya existentes que busquen mejorar las condiciones para los usuarios, o en referencia energética, tal es el caso de estudio del inmueble seleccionado para esta investigación.

A su vez, se realizó un análisis documental para la obtención de dato lumínico (Ricciardi y Buratti, 2018) mediante mediciones *in situ*, las cuales tienen como objetivo la recolección de datos reales de Valle de las Palmas para realizar comparativas con los datos climáticos interpolados desarrollados con el programa *Meteonorm* para la unidad de Valle de las Palmas nombrado UABC_Valle_de_Las_Palmas-UABC_FCITEC. Por consiguiente, se realizaron distintos reportes fotográficos, lecturas de espacios interiores, lecturas térmicas en fachada, lecturas térmicas en salón, lecturas de iluminación al exterior del inmueble a analizar, lecturas de

iluminación en pasillos y lecturas de iluminación dentro de las distintas aulas y zonas del edificio F, con la finalidad de corroborar y comparar datos.

Tabla 13

Herramientas e instrumentos utilizados en esta investigación.

Herramientas e instrumentos				
Herramienta	Gráfico descriptivo	Lugar	Fecha y hora	Hora
Luxómetro marca ALPTHY con medidor de temperatura ambiental y rango de hasta 200,000 Lux en iluminación.		Edificio F Aula F112, F113, área común y pasillo nivel 1	21 de septiembre de 2022 Solsticio de Otoño	A las 11:00, 13:00 y 15:00 horas.
Termómetro digital marca Perfectprime, modelo TM0300, pistola laser con rango de los -58~1112°F		Edificio F Aula F112, F113, área común y pasillo nivel 1	21 de septiembre de 2022 Solsticio de Otoño	A las 11:00, 13:00 y 15:00 horas.
Cámara térmica marca FLIR modelo E5 rango de 20°C a +250°C (-4°F a 482°F)		Edificio F Aula F112, F113, área común y pasillo nivel 1	21 de septiembre de 2022 Solsticio de Otoño	A las 11:00, 13:00 y 15:00 horas.
Cinta digital marca Dtape modelo DT50 con distancia de hasta 50 metros.		Edificio F: Aulas, pasillos, baños, espacios comunes, laboratorios y cubos de escalera.	Semestre 2020-1 y 2020-2	Variable/

Nota: Las herramientas e instrumentos aquí mostrados fueron utilizados para mediciones constantes dentro y fuera del edificio.

3.2.2. ESTANDARES Y REGLAMENTOS LOCALES, NACIONALES E INTERNACIONALES:

Dentro de los esfuerzos por homologar aquellos elementos relacionados con temas que aporten un beneficio a los usuarios, así como a las edificaciones, se han venido desarrollando una serie de reglamentos, los cuales pueden llegar a variar por país, región o localidad, a su vez, actualmente se cuentan con una serie de estándares que buscan ser impulsados de manera internacional por instituciones como la *ASHRAE*, *LEED* o *WELL*. Dentro de este rubro, México cuenta con la Norma NOM-025-STPS-2008, en el caso particular de Tijuana, cuenta con un reglamento de construcción actualizado al 2015 dentro del cual aborda de manera general el tema relacionado a las aperturas de muro e índices de iluminación por espacio, no obstante, carece de elementos que aborden el tema de confort para el usuario, o elementos de protección mediante los cuales se pueda optimizar aspectos relacionados con un desempeño de alta eficiencia en espacios, edificaciones o beneficios al usuario final.

Dentro de este apartado se revisarán de manera general los elementos revisados y considerados para el desarrollo de esta investigación, no obstante, otras referencias no serán enlistadas por estar basadas en los estándares o reglamentos aquí expuestos.

REGLAMENTO DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

Una de los primeros documentos en mencionar parámetros de iluminación dentro de los reglamentos locales y estatales, se encuentra dentro del reglamento estatal para Baja California en la versión de 1976, la cual establece dentro del Capítulo XI – Niveles de Iluminación, dentro del artículo XI-1, Iluminación, solamente establece que: Toda aquella construcción deberá contar con iluminación artificial adecuada de acuerdo a los niveles mínimos establecidos en el Artículo XI-2 (GobBC, 1976). Y en caso de aquellos casos no previstos dentro de dicho artículo, se sujetará a normas de iluminación establecidas. Dentro de lo establecido dentro del artículo XI-2, menciona en su segunda sección un breve listado de espacios con niveles mínimos para edificios para la educación en su apartado III, los cuales se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14
Niveles Mínimos con iluminación artificial Reglamento de Baja California

III.- Edificios para Educación	
Espacio	Mínimo en Lux (lx)
Circulaciones	100
Salón de clase	400
Salones de dibujo	600
Salones de costura	900
Sanitarios	100

Nota: Los datos expresados obedecen al reglamento con vigencia al Niveles Mínimos con iluminación artificial Reglamento de Baja California

No obstante, el principal problema encontrado es que no hace referencia a niveles de iluminación natural, ya que dentro del Capítulo XIX Edificaciones para la Educación, en su artículo XIX – 2 Iluminación y ventilación, solo hace referencia a que los espacios o aulas deberán estar iluminados y ventilados por medios de ventanas a la vía pública o patios, esto maneja de manera abierta. Posteriormente en su modificación de 1994 y revisada al 13 de julio de 2018, se eliminan los requisitos mínimos de iluminación y su artículo 20 dentro de su fracción I, establece que la iluminación natural debe ser acorde a las funciones del inmueble (GobBC, 2018), esto pasa esa responsabilidad al reglamento de construcción del Municipio de Tijuana y a la NOM-025-STPS-2008.

REGLAMENTO DE EDIFICACIÓN PARA EL MUNICIPIO DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA

Por otro lado, el reglamento municipal de Tijuana B.C. en su actualización a enero de 2018, dentro de su Sección II – De los niveles de iluminación y ventilación en su Artículo 76 menciona que para garantizar la iluminación diurna en los espacios de una edificación se deberán cumplir con distintos elementos, entre estos domos, tragaluces, vanos y ventanas, y que, en caso de aquellas fachadas con colindancia, la separación mínima deberá ser de 1.00m (Tijuana, 2019). A su vez, el Artículo 77 proporciona los niveles mínimos requeridos para iluminación nocturna en espacios escolares, los cuales deberán emularse en condiciones diurnas tales se describen en la Tabla 15.

Tabla 15

Niveles Mínimos con iluminación artificial Reglamento de Tijuana, B.C.

Espacio	Tipo de Actividad	Características	Rango de Iluminación (Luxes) (lx)		
			Rango		
			1	2	3
Educación	• Labor visual de alto contraste o en objetivos de gran tamaño.	• Aulas, talleres y laboratorios, salas de lectura y cómputo, bibliotecas	200	300	500
	• Labor visual de contraste medio o en objetivos de tamaño pequeño.	• Salas de dibujo, laboratorios.	500	750	1000
	• Labor visual de contraste bajo o en objetivos de tamaño muy pequeño.	• Salas de dibujo donde se requiera, áreas de diseño especializadas.	1000	1500	2000

Nota: Para las especificaciones de los rangos se tiene que:

Rango 1.- Iluminación general en zonas de poco tráfico o de requisitos visuales sencillos.

Rango 2.- Iluminación para trabajo en interiores.

Rango 3.- Iluminación adicional para tareas visuales exigentes.

NOM-025-STPS-2008

En diciembre de 2008 se aprueba la NOM 025 para mejorar las condiciones de iluminación de los distintos centros de trabajo, dentro de esta norma oficial mexicana la incorporación de la disposición en la cual se determina que el Reporte del Estudio que cumpla con los niveles de iluminación estará vigente mientras se conserven las condiciones de iluminación bajo las cuales se llevó a cabo el reconocimiento y evaluación (STPS, 2008).

Esta normativa permite realizar estudios para identificar si la iluminación dentro de los distintos espacios de trabajo, pueden proveer un ambiente donde las actividades pueda desarrollarse de manera segura para los usuarios, brindando confort y evitar riesgos al momento de realizar las actividades necesarias.

No obstante, si bien esta normativa contempla el uso de iluminación artificial y natural dentro de los espacios de trabajo, esta investigación busca una independencia lumínica durante la mayor cantidad de horas que correspondan a los horarios de uso por parte de los usuarios de la FCITEC, pero considerando aquellos datos que dictan dicha norma para actividades similares dentro de las aulas de estudio, talleres, laboratorios y trabajo como se aprecia en la Tabla 16.

Tabla 16
Niveles de Iluminación en distintos espacios.

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000

Nota: La Tabla 16 está basada en los datos que especifica la NOM-025-STPS-2008 para el desarrollo de diversas actividades y la cantidad de iluminación mínima requerida. elaboración propia.

ASHRAE STANDARD 55

El estándar *ANSI / ASHRAE 55*, establece los rangos y condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana en ambientes interiores para lograr un confort térmico aceptable para los ocupantes de los edificios. Esta se publicó por primera vez en 1966 y desde 2004 se actualiza cada tres a seis años. La versión más reciente del estándar se publicó en 2020.

Dentro de esta investigación, el estándar 55 hace eco ya que a partir de la actualización de su versión en 2017, considera parámetros de confort térmico desde la perspectiva de la radiación solar directa, no obstante, las consideraciones son basadas si se busca la medición de una de las seis condicionantes que abarcan las nuevas actualizaciones, las cuales incluyen: temperatura, radiación térmica, humedad, velocidad del aire, nivel de actividad o nivel metabólico y protección del usuario mediante ropa y los grados de protección que esta pueda proveer.

No obstante, cabe resaltar que este estándar es mencionado por la importancia que puede llegar a tener en correlación con alguno o varios factores que lleguen a incidir o coincidir, pero no es considerado de manera directa ya que este no contempla aspectos como calidad del aire, acústica, contaminación o en el caso específico de esta investigación, el impacto de la iluminación dentro de los espacios de estudio.

ASHRAE STANDARD 90.1

El estándar 90.1 ha sido un punto de referencia para los códigos de energía de edificios comerciales en los Estados Unidos, esta base de datos de las claves para los códigos y estándares han sido implementados en todo el mundo durante más de 35 años.

Este estándar proporciona aquellos requisitos mínimos para el diseño de eficiencia energética de la mayoría de los edificios, excepto los edificios residenciales de poca altura. Ofrece, en detalle, los requisitos mínimos de eficiencia energética para el diseño y construcción de nuevos edificios y sus sistemas, nuevas porciones de edificios y sus sistemas, así como nuevos sistemas y equipos en edificios existentes, criterios para determinar el cumplimiento de estos requisitos, entre otros. Es una referencia indispensable para ingenieros y otros profesionales involucrados en el diseño de edificios y sistemas constructivos (ASHRAE, 2017b, 2018; Smith, 2007).

- Asignaciones de potencia de iluminación modificadas para el método espacio por espacio y el método del área de construcción.
- Nuevo método simplificado de iluminación para contratistas y diseñadores de edificios de oficinas renovados y edificios comerciales de hasta 2300 m² (25.000 pies cuadrados).
- Requisitos de control de iluminación actualizados para estacionamientos para tener en cuenta el uso de LEED.
- Requisitos de respuesta a la luz del día actualizados, definición agregada para atenuación continua basada en NEMA LSD-64-2014.
- Requisitos de iluminación lateral aclarados y excepciones asociadas.

ASHRAE STANDARD 169

El estándar 169 proporciona los datos climáticos para estándares de diseño de edificaciones nuevas, y ser estos datos climáticos reconocidos para la implementación de los mismos al momento de realizar los diseños de edificios y aquellos equipos relacionados con climatización y ventilación mecánica o artificial. Los datos climáticos utilizados dentro del estándar de la *ASHRAE* 169, están basados en las distintas estaciones meteorológicas distribuidas de manera global, entre los datos recopilados se incluyen las temperaturas de bulbo seco, punto de rocío y bulbo húmedo, entalpía, índice de humedad, condiciones del viento, radiación solar, latitud, longitud y elevación para ubicaciones en todo el mundo. A su vez, incluye datos estadísticos, como temperaturas medias, temperaturas medias, extremos anuales medios / medios, rangos diarios, grados-días y grados-hora para calefacción y refrigeración, horas y porcentajes estacionales dentro de los rangos de temperaturas, así como contenedores (ASHRAE, n.d.) las cuales se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17
Estaciones meteorológicas empleadas para elaborar archivo EPW.

Ubicación	Nombre	WMO#	Latitud	Longitud	Zona Climático
Imperial, Ca.	IMPERIAL COUNTY AP	747185	32.834	-115.579	2B
Imperial, Ca.	NAF EL CENTRO	722810	32.817	-115.683	2B
San Diego, Ca.	BROWN FIELD MUNICIPAL	722904	32.572	-116.979	3B
San Diego, Ca.	CAMP PENDLETON MCAS	722926	33.300	-117.350	3B
San Diego, Ca.	MIRAMAR MCAS	722931	32.867	-117.133	3B
San Diego, Ca.	RAMONA AP	745056	33.038	-116.916	3B
San Diego, Ca.	SAN DIEGO INTL	722900	32.734	-117.183	3B
Tijuana, B.C.	TIJUANA INTL	760013	32.541	-116.970	3B

Nota: Las estaciones meteorológicas presentadas en la Tabla 17, contienen datos interpolados, mediante el cual se generó el archivo EPW para Valle de las Palmas, datos basados en el ASHRAE Estándar 169-2013, elaboración propia.

Los datos presentados en la Tabla 17 sirvieron de referencia para la elaboración de los datos climáticos interpolados utilizados dentro de esta investigación, no obstante, también se utilizaron datos de otras estaciones meteorológicas, como la de la presa Abelardo L. Rodríguez y la de la ciudad de Ensenada, la primera es parte de la base de datos de la CONAGUA, la segunda el programa *Meteonorm* la identifica como ciudad con bases interpoladas.

ASHRAE STANDARD 209-2018

En 2018 la *ASHRAE* presentó una ruta detallada sobre los procesos de diseño que se realicen para la elaboración de un modelo computacional, este tiene como objetivo la incorporación de datos de salida para realizar un análisis en la toma de decisiones que correspondan a todos aquellos aspectos relacionados con el diseño de un inmueble, sobre todo cuándo la simulación puede arrojar información más valiosa que ayude a visualizar el comportamiento del mismo en aspectos relacionados con el confort del usuario. Cada paso es iterativo a lo largo del proceso como lo muestra la Figura 42, está brinda la oportunidad de refinar opciones de diseño que sean fortalecidas con las ideas y mejorando opciones anteriores de diseño, con la finalidad de cumplir con las especificaciones técnicas, así como las resoluciones y los resultados generales de la simulación del desempeño del edificio.

El estándar *ASHRAE* 209-2018, está pensado para aquellos procesos de diseño asistido por simulación energética para edificios, excepto edificios residenciales pequeños, ya que define los requisitos mínimos para brindar asistencia en el diseño energético mediante simulación y análisis de energía de edificaciones arriba de 1000 m² aproximadamente ya que es un complemento del estándar 90.1 de *ASHRAE* (*ASHRAE*, 2018; *ESEFICIENCIA*, 2018). A su vez define aquellos procedimientos de modelado relacionados con rendimiento energético para cuantificar el impacto dentro del diseño cuando se toman las decisiones sobre el impacto de las mismas. Para cumplir mínimamente con el estándar 209-2018, los equipos de proyectos de construcción deben evaluar las opciones de eficiencia energética utilizando modelos al principio del proceso de diseño (*ASHRAE*, 2018).

A su vez, define la terminología, procesos y los requisitos mínimos para aplicar una simulación de rendimiento de edificios en el diseño de edificaciones dentro de los procesos de

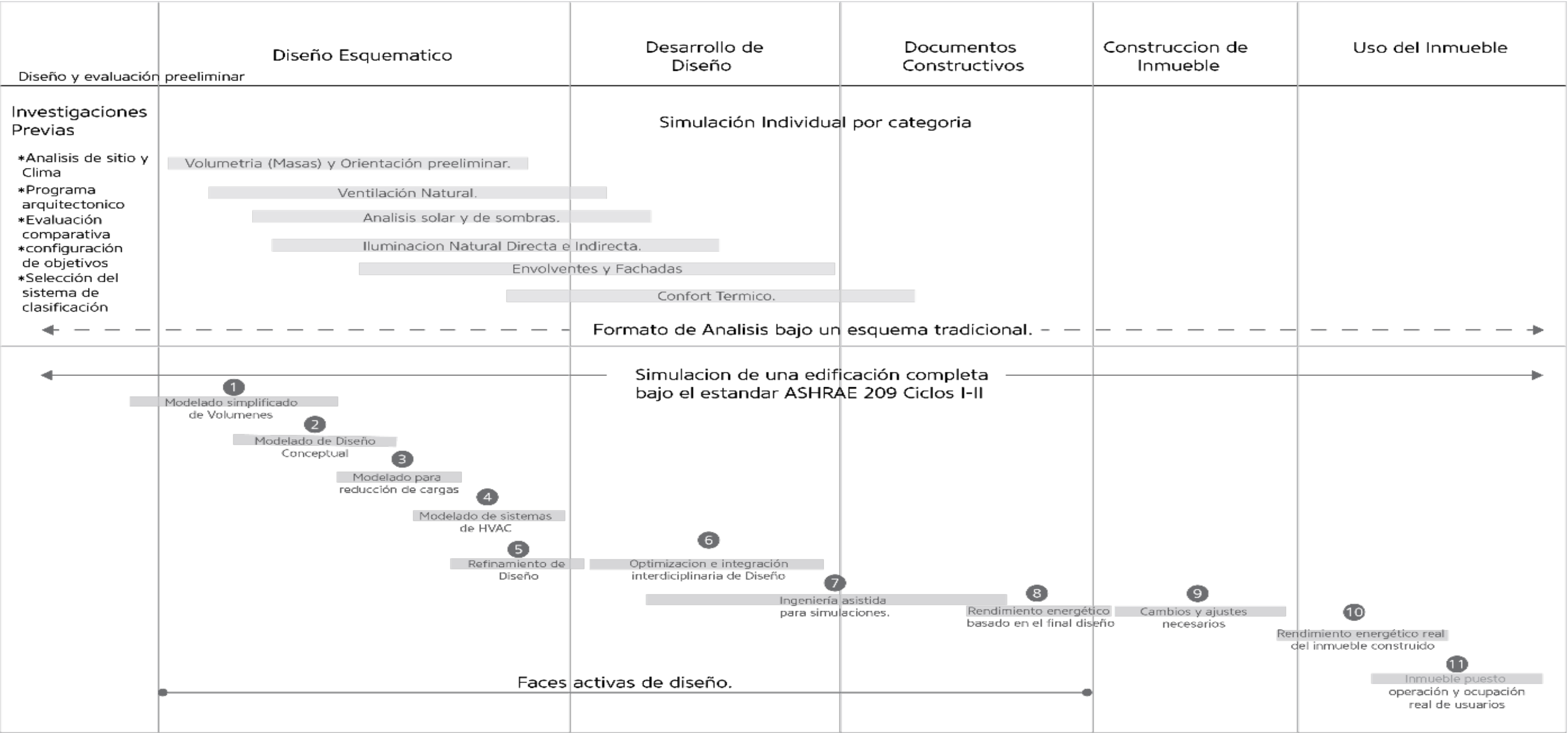
diseño, aplicable a nuevas construcciones o aquellas existentes y que se busquen remodelar buscando una certificación *LEED* o del *WELL Institute* (Delos Living LLC, 2016; LEED, 2009). Este estándar fue desarrollado para elaborar distintos códigos que apoyen dentro de los procesos de diseño, así como realizar un lenguaje equitativo para todos los involucrados dentro de un mismo proyecto, a su vez, define términos entre distintas instancias, y ser las más importantes entre el equipo de diseño y el cliente o desarrollador, y tener como base una tabla como lo muestra la Figura 42, en la cual se pueda enmarcar expectativas, requisitos, insumos y entregables desarrollados a través de las distintas etapas de trabajo.

Por otro lado, la importancia de este estándar para esta investigación, es para respaldar las simulaciones de aspectos como:

- Simulación solar
- Estudio de sombras
- Estudio de luz diurna
- Análisis de deslumbramiento

El estándar 209 analiza toda la categoría de simulación energética de edificios, también indica que estas simulaciones deben ser realizadas por un profesional certificado en el área de rendimiento energético para edificaciones (AIAU-AIA, 2020). Por ende, idealmente los arquitectos deben realizarlas abarcando múltiples aspectos desde un inicio, tomando en cuenta las características como la forma básica, masa, orientación, sombreado, programación y envolvente. Todas estas decisiones de diseño son competencia de un equipo de diseño a cargo de un arquitecto responsable de proyecto que cumpla con los conocimientos generales relacionados con estándares energéticos que afectan a un edificio y en el uso de energía del edificio. Al mismo tiempo, el arquitecto contrata los servicios de unas personas especializadas en realizar la simulación energética de todo el edificio para poder cumplir con esta y a su vez, que tenga una menor afectación en el diseño final del inmueble, Figura 42 muestra una comparativa del modelo tradicional de la AEC en comparativa directa con la propuesta de la ASHRAE 209 (AIA, 2019). Cada ciclo de modelado es una extensión de una simulación general que se puede aplicar en cualquier momento durante el diseño (Overbey, 2018).

Figura 42
Comparativo de formato de trabajo tradicional contra la propuesta 209-2018 de ASHRAE

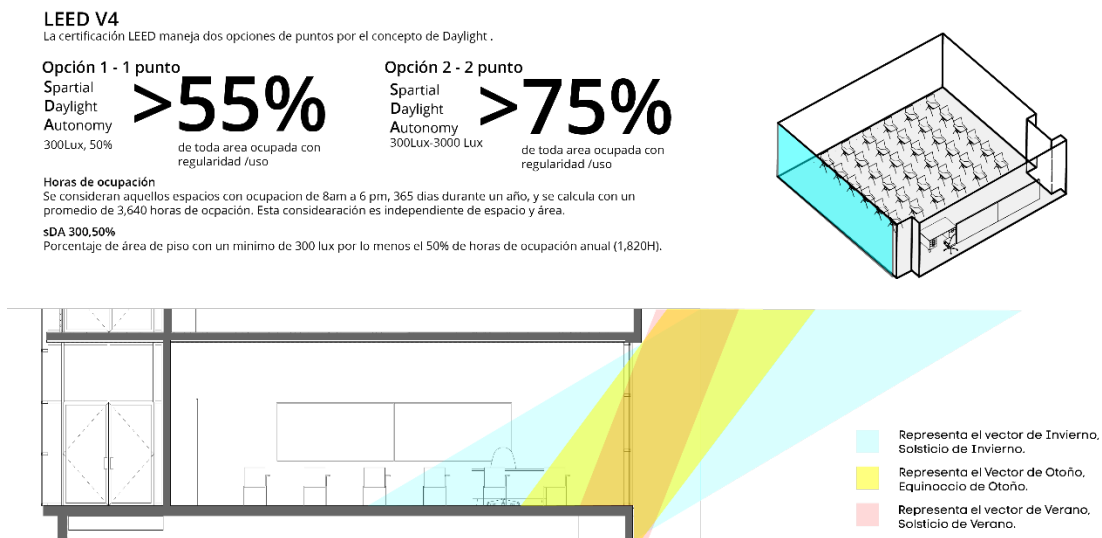


Nota: Comparativo, formato tradicional de diseño en la parte superior, propuesta de diseño basado en el estándar 209-2018 de la ASRAE, Basado en estándar 209-2018, elaboración propia.

LEED V4 $sDA_{300/50\%}$

Este formato permite obtener puntos por iluminación natural dentro de un inmueble. Esto es posible ya que los sistemas tradicionales para medición de elementos como la iluminación natural dentro de los espacios se van actualizando día a día con la finalidad de atender nuevos criterios de simulación y estudios especializados, como se mencionó anteriormente, mediante estos se busca estar enfocado en el usuario, de manera cualitativa o cuantitativa, uno de los ejemplos utilizados e implementados dentro de distintas certificaciones, es el uso de sDA o Autonomía de iluminación espacial, la cual puede medirse de manera general en dos formas, las cuales pueden llegar a tener un impacto al momento de la evaluación de un inmueble, la Figura 43, muestra de manera general los valores a buscar dentro del caso de estudio a manera de ejemplo, integrando el aula en isométrico, los rangos generales y la iluminación que percibe el espacio según la época de análisis.

Figura 43
Valores de sDA según LEED V4



Nota: La figura nos muestra como ejemplo una orientación sur de la ventana principal del espacio en un primer nivel, para el análisis de sDA según LEED V4, se contempla el día 21 de septiembre en horario considerado de oficina.

ASPECTOS CUALITATIVOS DE LA ILUMINACIÓN

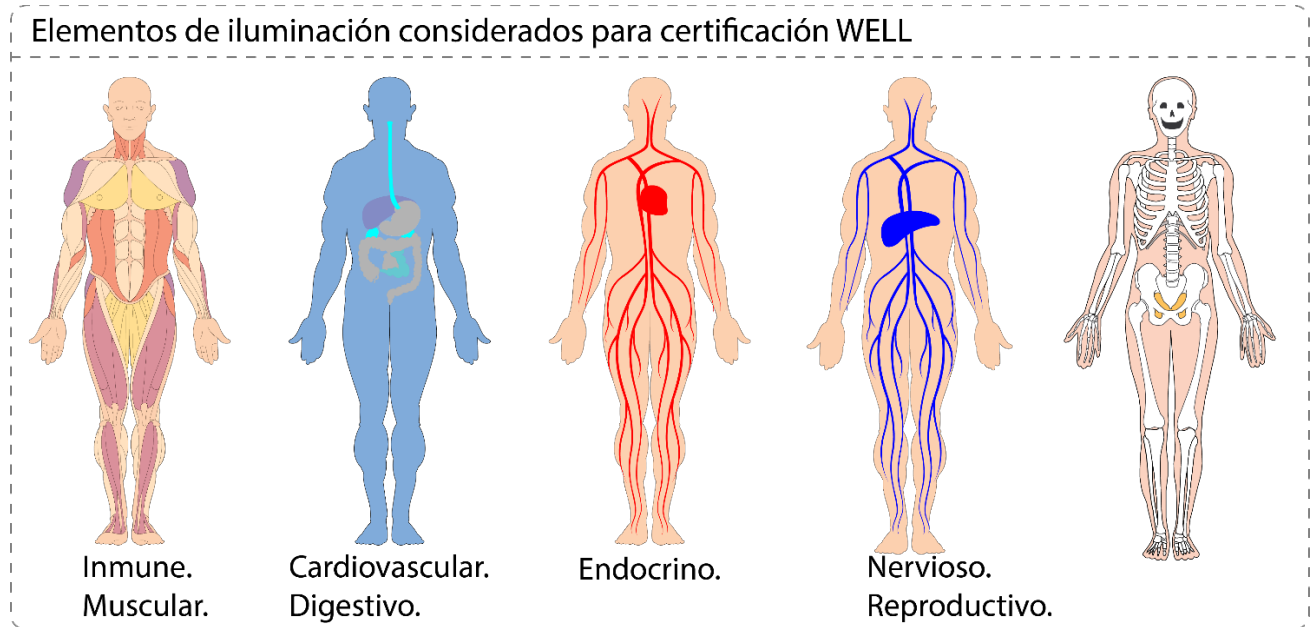
Dentro de los beneficios que puede tener un espacio iluminado o aquellos aspectos no cuantificables de manera cuantitativa. Si bien el formato no es nuevo, la *WELL Insititute* toma en cuenta características específicas para la consideración de certificaciones que integran el bienestar del usuario, dentro de su apartado de iluminación, se consideran aspectos como : Calidad del color, diseño de superficies, dispositivos de sombra y control de iluminación, el derecho a la iluminación, modelado a partir iluminación e iluminación por medio de fenestración (Delos Living LLC, 2016).

Dentro de los puntos importantes considerados para esta investigación, están los siguientes apartados:

- 60 *Automated Shading and dimming controls* (Dispositivos de sombra y control de iluminación), este menciona que aquellas ventanas con una superficie mayor a 0.55m² deberán contar con sensores para el control de la luz solar y disminuir el *Glare* en los espacios de trabajo.
- 61 *Right to Light* (derecho a la iluminación), el cual menciona que los espacios deben tener acceso a una ventana para contar con iluminación natural, y de ser posible, n% porcentaje de acceso a vistas exteriores.
- 62 *Daylight Modeling* (Modelado mediante iluminación), el cual solicita que se tenga un *sDA* (*Spatial Daylight Autonomy* por sus siglas en inglés) de 300lux por lo menos en el 50% del área espacial, o en su defecto, un ASE de 1000 lux por 250 horas anuales de ocupación.

A la vez, otras instituciones como la *AIA* empiezan a difundir estudios relacionados con el bienestar del usuario dentro de la literatura de consulta para el diseño de espacios, dentro de estas se toma en cuenta el impacto en el organismo del ser humano o usuario como se muestra en la Figura 44, tales como la afectación por ganancia de iluminación directa, calidad del aire, etc., relacionados con el diseño y la proporción de ventanas sobre el total del área espacial, ya que este puede proporcionar una influencia emocional o de personalidad (Menezes et al., 2022).

Figura 44
Elementos de iluminación considerados para certificación WELL.



Nota, La figura anterior nos muestra los distintos elementos considerados para certificación WELL, dentro del apartado 62 que corresponde al modelado mediante iluminación. Basado en Delos Living LLC, (2016) Elaboración propia.

3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.

Dentro de la unidad de análisis, se revisaron los formatos que fuesen los adecuados para representar los datos obtenidos, por ser un estudio que involucra el análisis y simulación de datos de iluminación natural, para ello se consideraron las tres unidades principales para poder obtener y graficar datos, no obstante, se encontró que las unidades de medición lumínica podían ser cuantificadas de manera constante, tanto en simulaciones, como en sitio, ya que estas pueden ser medidas en uno o varios puntos específicos y se pueden realizar con herramientas graduadas que pueden estar al alcance de otros usuarios no especializados.

Es por ello que se toma la unidad de LUX, basada en el sistema métrico y a su vez, esta es reconocida por la NOM-025-STPS-2008 (STPS, 2008), la cual indica los criterios de iluminación para espacios interiores, al igual que aquellos mencionados dentro de los estándares *ASHRAE 90.1* y *WELL*.

No obstante, la *BREEAM NL* señala que, para el uso de edificaciones, ya sea una nueva construcción, renovación o edificaciones en uso, el porcentaje mínimo del espacio total del piso para evaluar deberá ser del 80% y el factor mínimo por espacio deberá ser no menor al 2% (Edwards et al., 2019)

Para determinar los puntos necesarios para tomar las lecturas de iluminación dentro de los distintos espacios, se determinó que esta debía ser por medio del método de la constante del espacio (STPS, 2008), con la finalidad de obtener la constante del salón, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$K = (A * L) / [h(A + L)]$$

Donde:

K: Constante del Salón

L: Largo del espacio

A: Ancho del espacio

H: Altura de Luminarias sobre plano útil.

$$K = (8.60 * 9.40) / [3.40(8.60 + 9.40)]$$

$$K = 88.84 / [3.40(18)]$$

$$K = 88.84 / 61.20$$

$$K = 1.44$$

Por lo tanto, en base a la Tabla 18 se determinó que dentro de las distintas aulas del nivel 01 del edificio F requieren de 9 puntos de medición tal como dicta la NOM-025-STPS-2008, por lo tanto, la retícula a utilizar será de 3 x 3 espacios, buscando lecturas que en promedio tengan de 300 lux a 1000 lux como máximo, considerando un *sDA* y las actividades a realizar dentro del aula.

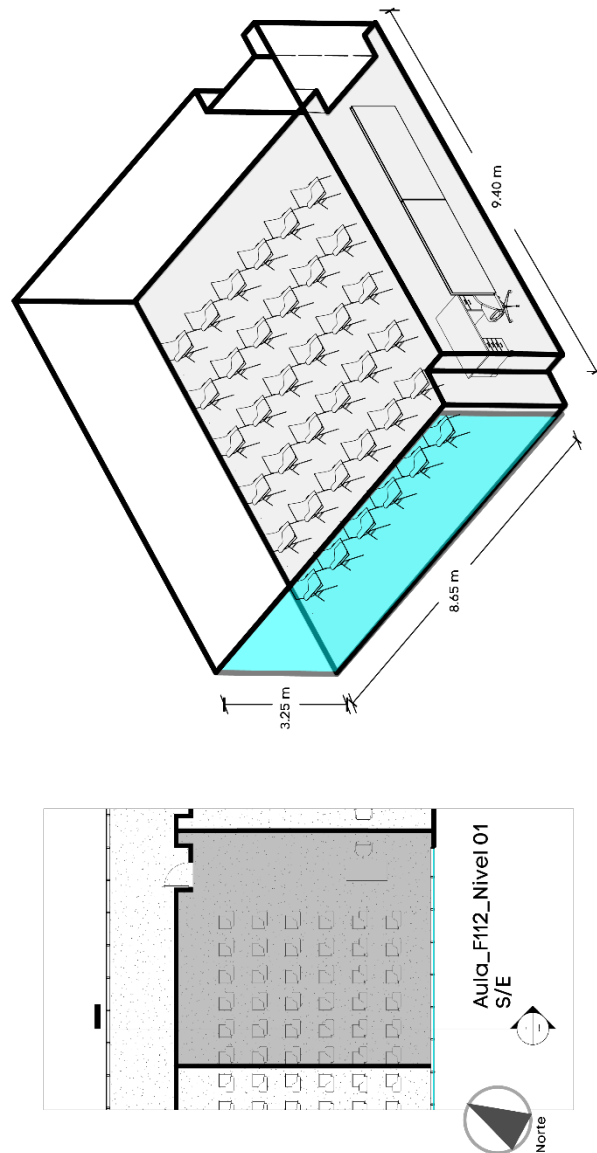
Tabla 18
Puntos de medición basada en la NOM-025-STPS-2008

Constante del espacio	No. Mínimo de Puntos de medición
<1	4
1 y <2	9
2 y <3	16
≥3	25

Nota: La Tabla 18 muestra la cantidad de puntos de medición basada en los datos de la NOM-025-STPS-2008.

Dentro de la Figura 45, encontramos la visualización de la planta arquitectónica del espacio donde se llevará la simulación, a su vez, encontramos una representación gráfica en la cual se pueden apreciar las medidas generales del espacio, orientación de mesabancos, ubicación de escritorio, y las medidas principales del vano con orientación sur, el cual, equivale a la ventana con la misma orientación. Esta no cuenta con una protección por la parte exterior, tampoco cuenta con alguna película de protección o reducción de iluminación y está elaborada a base de cancelería de aluminio en acabado natural con vidrio sin tinte en espesor de ¼”, la cual equivale a un ~95% de la superficie total que está orientada al sur suroeste.

Figura 45
 Vista de planta e isométrico de espacio a simular.



Nota: El volumen isométrico se simplificó para poder ser visualizado fuera de un programa especializado, ambas figuras están fuera de escala, no obstante, el modelo isométrico muestra medidas proporcionales.

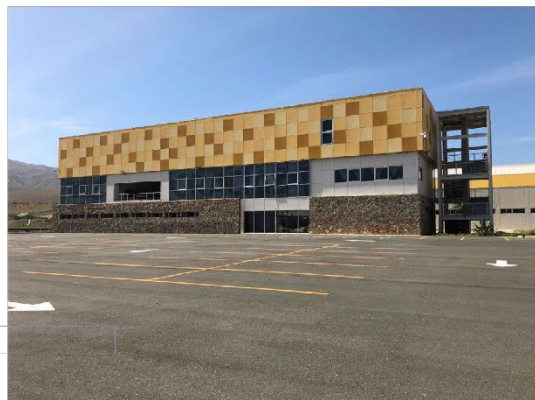
3.4. SIMULACIÓN Y MODELADO.

Dentro de los distintos enfoques para la elaboración de este trabajo, se analizan aquellos referentes a la elaboración de modelado y simulación, y hacer hincapié en tipos discretos, a saber, interacción de procesos, programación de eventos y desarrollo de actividades, con una minúscula comparación entre los enfoques.

Según El Sheikh et al., (2007) el uso de Modelado y Simulación permite estudiar la naturaleza o los sistemas de diseño, esta investigación, busca la aplicación de este método apoyado en tecnologías de la información y las comunicaciones, ubicando a esta disciplina dentro de las representaciones gráficas y de fácil manipulación para el usuario o diseñador. Frecuentemente el sistema estudiado no está disponible para su experimentación directa, por motivos económicos, bioéticos, de salud o riesgo de vida, complejidad, etc. Por ello que la aplicación de este tipo de alternativas es usada en diversas áreas y ramas de la investigación. A través de modelos formales lógico-matemáticos, o modelos virtuales con características reales a los físicos, se pueden expresar reglas de comportamiento y estructura para un sistema permite describir su evolución en el tiempo.

La Figura 46 muestra una comparativa de imagen real del Edificio F a la izquierda y su gemelo digital a la derecha, el modelo desarrollado en *BIM* cuenta con la mayoría de materiales y características del modelo real, una de las ventajas de los gemelos digitales, consiste en la visualización de materiales y sus texturas, las cuales, pueden llegar a tener una representación casi idéntica del modelo físico cuando al modelo 3D se le aplican relieves, texturas, colores, orientación e iluminación artificial correspondientes, el modelo del edificio F fue desarrollado para cumplir aquellos aspectos de simulación natural y no cuenta con instalaciones eléctricas que faciliten la interpretación de iluminación artificial.

Figura 46
Modelo físico y gemelo digital.



A. Imagen de fachada sur de Edificio F.



B. Imagen de Render de modelo BIM de edificio F.

Nota: La muestra una comparativa de imagen real del Edificio F a la izquierda y su gemelo digital a la derecha, elaboración propia.

Por lo tanto, esto hace posible razonar sobre el modelo mediante «experimentos» del tipo «qué pasaría si...» explorando las consecuencias de realizar cambios sobre el sistema original y su entorno (ICC, 2018). La implementación de simulaciones por medio de algoritmos o *scripts*, facilita las funciones de simulación y con ello, comprende la descripción de un modelo para producir comportamientos que pueda ser observados en tiempo real. El objetivo de las técnicas de simulación es aplicar en forma eficiente el poder de cómputo disponible para responder más preguntas en menos tiempo y con mayor precisión. La Figura 49 muestra el proceso metodológico, el cual abarca desde el modelado 3D *BIM*, el análisis y sus respectivas simulaciones, así como la implementación de *Galapagos* en *Grasshopper* en conjunto de *Ladybug Tools*, aplicando el algoritmo de diseño generativo tipo *NSGA-II* o *CMS-ES* para simulaciones supervisadas y la aplicación de la metodología de *K* para simulaciones no supervisadas, esto con la finalidad de obtener toda la información necesaria para la elaboración del diseño de protecciones pasivas en envolventes arquitectónicos y una vez seleccionados los diseños pertinentes, se proceda al desarrollo de toda la documentación necesaria para realizarse en modelo físico.

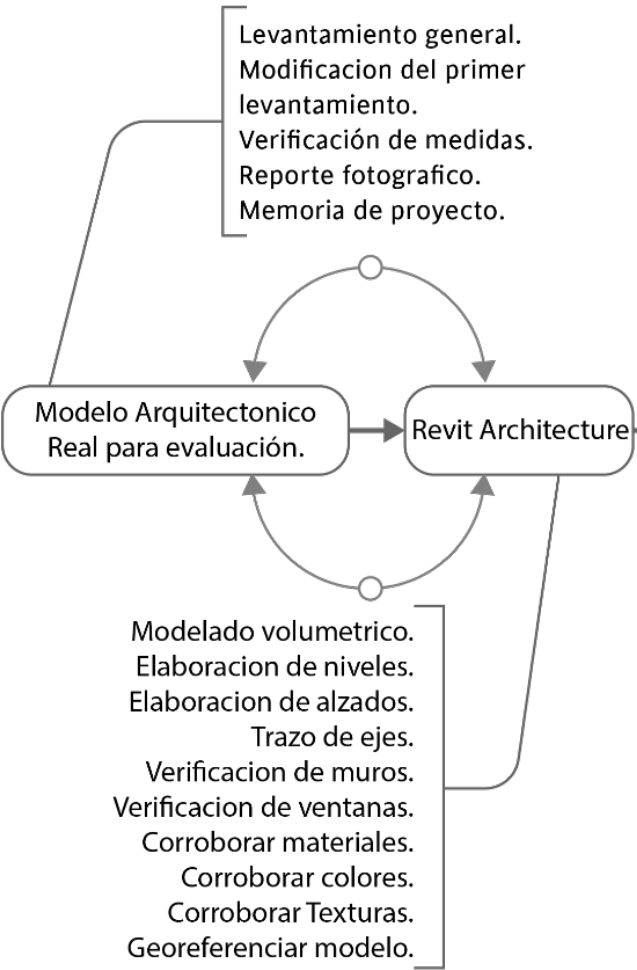
DETALLE DE MODELO TRIDIMENSIONAL

En relación al modelado tradicional de objetos 3D, estos se llegan a implementar dentro de distintos formatos de trabajo, por lo general, estos están elaborados mediante el uso de vectores, lo cual provoca limitaciones significativas al momento de diseñar, no obstante, este tipo de formato puede contar con mayores ventajas para el desarrollo de simulaciones digitales o virtuales, si bien existen programas que utilizan el formato vectorial como *Rhinoceros 3D®*, este puede desarrollar simulaciones más complejas gracias a *LadybugTools* (Chris Mackey y Sadeghipour Roudsari, 2018), el modelado en el entorno *BIM* puede basarse en *As Is*, *As Design* o *As build*, esta información ayuda a corroborar datos dentro de una construcción, antes, durante y después de ser terminada, los modelos 3D dentro de un edificio, sirven para realizar funciones como cuantificación, simulación, visualización, identificación de elementos, especificación de elementos en obra, entre otros aspectos (Shih et al., 2013).

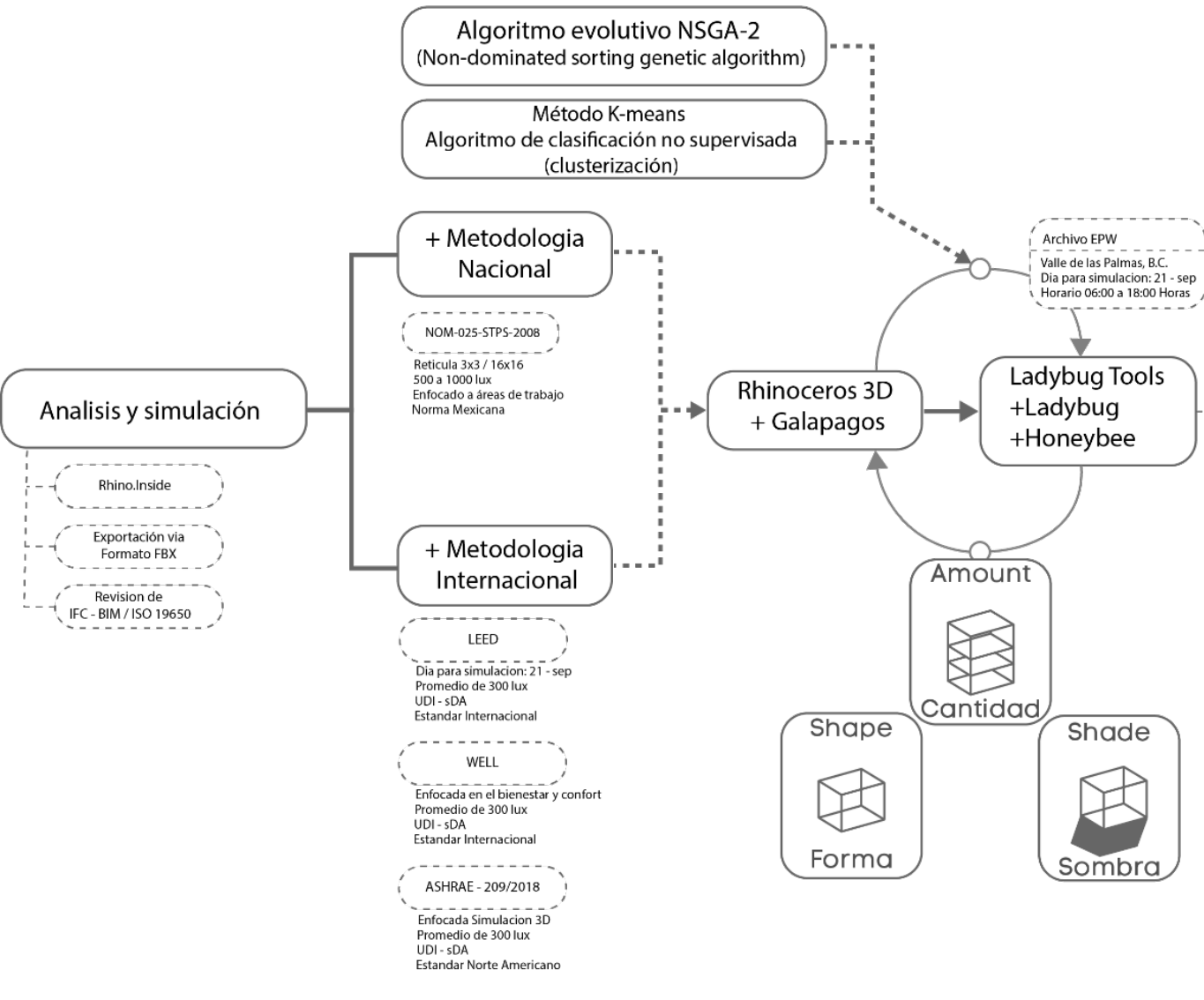
Existe una clara diferencia entre los modelos generados dentro de un formato bidimensional a los desarrollados en su totalidad de manera tridimensional, además de su naturaleza en mostrar volumetrías geométricas ortogonales y orgánicas, está basado en el resguardo de datos que hacen los materiales propuestos, no solamente contengan datos de propiedades físicas, volumétricas, cuantitativas y estéticas, los elementos elaborados en el entorno *BIM* dejan de ser dibujos para convertirse en un inmueble construido de manera virtual el cual puede tener las mismas características que uno construido, señalando una pauta en la calidad de la información que será implementada durante todo el proceso de la obra (Bae Seo y Beom Ju, 2013), la Figura 47 muestra la visualización esquemática de la metodología a implementarse dentro de este trabajo, la cual involucra el desarrollo de todos los elementos en un entorno tridimensional.

Figura 47
Visualización esquemática de la metodología a implementarse

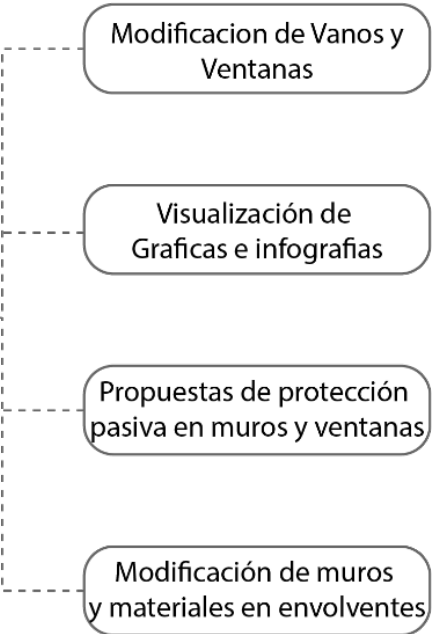
Preparación de Modelo Arquitectonico a Revit Architecture a LOD 350



Analisis y Simulación



Productos resultantes de proceso generativo



Nota: El formato aquí presentado forma una parte de todo el procedimiento a implementarse, y forma una parte esquemática de la metodología a implementarse o los resultados a obtener.

Cabe destacar que un modelo 3D *BIM*, puede albergar toda la información para el desarrollo de una simulación energética, ya que por contener las características reales de los materiales y elementos que representa y le fueron asignados (Francisco et al., 2018), estos reproducen condiciones específicas de fecha y hora, así como ubicación geográfica y condiciones climáticas al momento de ser combinados con archivos climáticos denominados EPW y ser importados a programas o aplicaciones especializadas (Gaspari et al., 2017), la Figura 48 muestra un modelo desarrollado en *LOD 350*, el cual es utilizado dentro de esta investigación

Figura 48
Modelo 3D de edificio F,



Nota: La Figura 48 muestra el modelo tridimensional está elaborado en *LOD 350* dentro del ecosistema de Revit Architecture y simulado en Enscape 2.3.1, elaboración propia.

En cuanto a los tipos de datos que se pueden encontrar dentro de un modelo 3D, pueden ser identificados por medio del uso del nivel de detalle dentro del modelo tridimensional, el cual contiene detalles constructivos o *LOD (Level Of Development)*, por sus siglas en inglés o un nivel detallado de elementos si este se ocupará interpretar en español), los cuales varían según la necesidad del modelo como se muestra en la Tabla 19. La implementación de la tecnología *BIM* a nivel global, forma parte de reglas operativas de colaboración entre instancias gubernamentales y el sector privado, uno de los estándares más importantes es *PAS 1192*, producto del gobierno de Reino Unido y la *RIBA* y la *BSI*, mediante esta, se pudo obtener una serie de pasos que fueron

simplificando los estándares aplicados a guías, documentación, colaboración de la información y desarrollo de protocolos *BIM*, en 2016 (Kumar, 2015), se dio la última aprobación para realizar un mapa de seguimiento de funciones específicas, las cuales incluía todos los escenarios que componen el cliente, diseñadores, consultores y contratistas para llegar al *ISO-19650* (BSI, 2020) mediante el cual, por medio de un proceso estandarizado, puede realizar un modelo 3D y real, un proceso transparente y sin intervención de terceros, este esquema se diseñó pensando en obras libres de corrupción al momento de su ejecución.

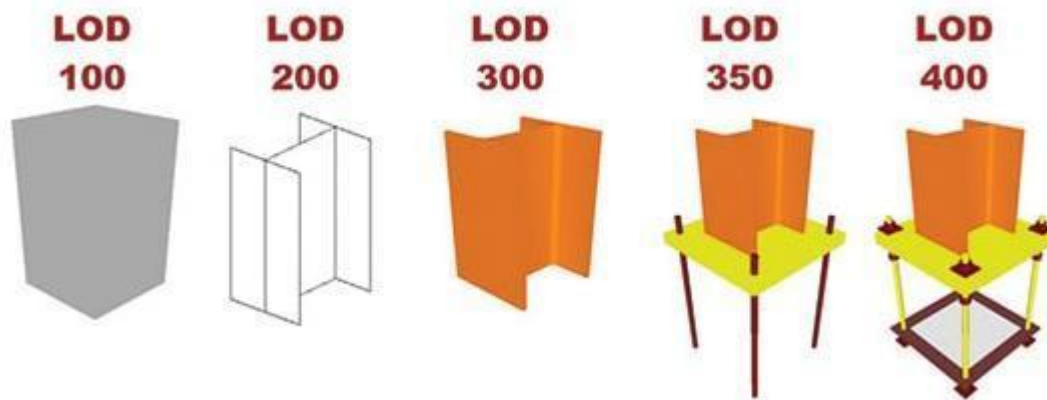
Tabla 19
Características específicas de LOD (Level of Development)

LOD	Características
100	Nivel básico donde encontramos elementos conceptuales de un proyecto, con un grado genérico de definición. No tiene representación gráfica, solo un símbolo, tampoco contiene información gráfica.
200	Nivel que define gráficamente un elemento, cantidades, tamaño, forma y ubicación respecto al conjunto del proyecto, bajo un esquema aproximado. Puede contener información no gráfica, y mínima representación gráfica.
300	Nivel para definición gráfica de los elementos, precisa la forma, tamaño, cantidades y la ubicación respecto al conjunto del proyecto. Puede contener información no gráfica y siempre tiene representación gráfica.
350	Nivel equivalente al anterior, este debe incluir la detección de interferencias entre distintos elementos. Suele ser prioritario el respeto a la estructura frente a las instalaciones y éstas frente a la arquitectura. Contiene una representación gráfica e información no gráfica del conjunto o elemento.
400	Nivel en el cual el objeto está definido geométricamente a detalle, dejando claro su posición, especificación sobre un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidad, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, este nivel suma las características principales de los anteriores.
500	Nivel en el cual el elemento objeto ya está definido con respecto a la fase anterior. Este nivel sirve de verificación de la información en relación al proceso constructivo finalizado y no es aplicable a otros elementos del proyecto. El criterio de validación de este nivel está definido por la propiedad y las normativas correspondientes. También es importante mencionar que en este nivel la información sustituye a las equivalentes de los otros niveles inferiores en todos los casos.

Nota: Los datos están basados en Kumar (2015), elaboración propia.

Un ejemplo para visualizar los detalles *LOD* de 100 a 400 puede observarse dentro de la Figura 49 la cual puede ir desde un elemento genérico hasta uno tan detallado que se convierte en un gemelo digital de los elementos físicos, en la actualidad se cuentan con dos sistemas de medición para esta nomenclatura, el sistema inglés, que usa niveles de complejidad y va del 0 al 3, este considera en su nivel 0 todos aquellos elementos desarrollados bajo una metodología de trabajo con *CAD* y a nivel 3, aquellos elementos que contemplen desde el ciclo de vida, monitoreo de elementos por medio de sensores y *cloud service*, o bien, el sistema americano, el cual utiliza una nomenclatura numérica y va del 100 al 600, este permite obtener variaciones como la 350, 450 y 550 (Kumar, 2015; NATSPEC, 2013), estas inician con elementos genéricos sin propiedades y considerados sólo en volumetrías, hasta un *LOD 550*, que involucra detalles específicos, sistemas de fabricación digital, monitoreo, impacto de huella de carbono, entre otros detalles, pensando que es el sistema ideal para el desarrollo de cualquier edificación o inmueble.

Figura 49
Representación gráfica de LOD



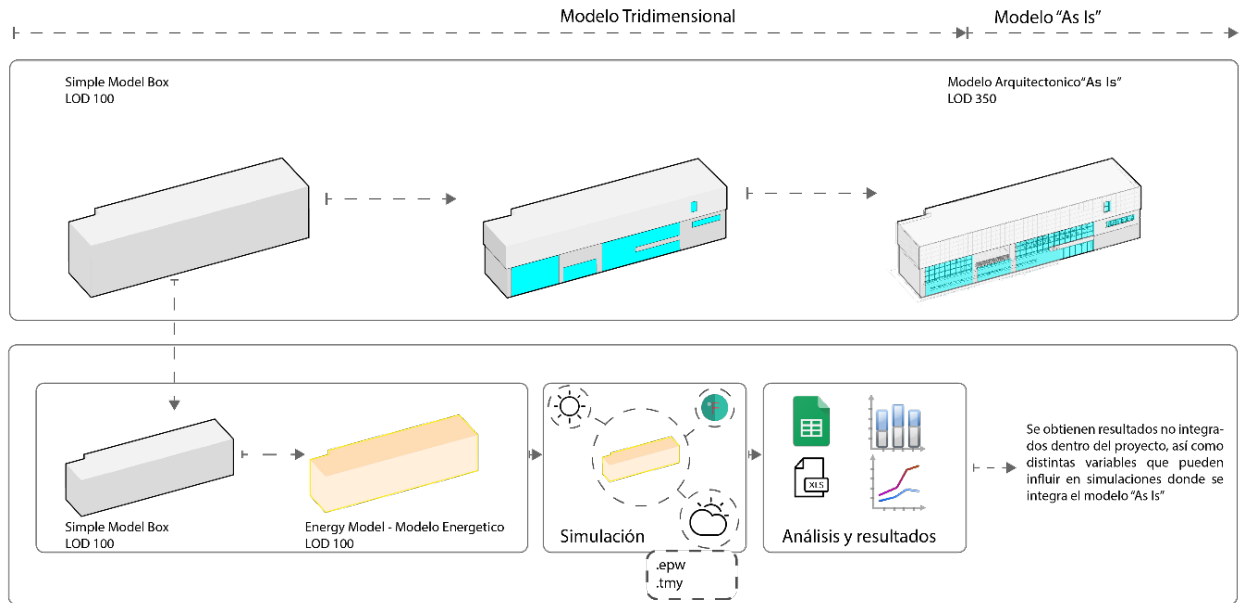
Nota: La figura anterior muestra la representación gráfica de *LOD* según su nivel y características de modelo recuperado de *BIM Forum* (2019)

3.4.1. MODELADO CONCEPTUAL

La necesidad de realizar un modelado conceptual se basa en la importancia para abstraer un problema e identificar cómo interactúa el sistema en el cual se desenvuelve la solución. Al modelar un problema se identifica su funcionamiento, y es realizado para solucionar problemas. El desarrollo de una simulación, está fundado en realizar una imitación de un elemento mediante el uso de un sistema asentado en un programa de cómputo, en nuestro caso, por medio de un ordenador y un programa especializado para el desarrollo de modelos tridimensionales basados en metodología *BIM* y programación visual y de texto, con esto se obtiene el comportamiento del modelo dentro del sistema y se puede observar cómo reacciona con los parámetros de entrada, lo cual nos informa acerca de qué solución optar, modificar y elegir de mejor manera una solución ante el problema.

El Sheikh (2007), refiere al modelo conceptual, como la descripción relacionada con los conceptos en un problema. El modelo conceptual sirve para representar una situación, una simulación o un problema de manera gráfica a través de, por ejemplo, diagramas entidad relación, diccionarios/glosarios y diagrama de clases, entre otros, en el caso específico de BEM o BPA, una de las primeras instancias a utilizar el formato de *simple box model* (AIA, 2019; Jaskiewicz, 2013; Shi y Yang, 2013) como lo muestra la Figura 50, el cual se basa en geometrías vectoriales sencillas que proporcionan solo la información básica para interpretar muros, aperturas y/o ventanas, a la vez que protecciones solares, o elementos secundarios a través de *Breps* o *modelos solidos para diseño asistido por computadora que funcionan como una colección de elementos conectados*, no obstante, este tipo de modelos llegan a tener deficiencia geométrica, quedando solo en formatos ortogonales con dificultad de expresar resultados en geometrías superficiales tipo *NURBS*, las cuales están basadas en modelos matemáticos que son utilizados e implementados por los programas de cómputo para representar geometría en un formato orgánico o bien, curvas y superficies complejas.

Figura 50
Formato de simulación vía Simple Model Box.



Nota: La figura muestra de manera esquemática el proceso de simulación de manera general.

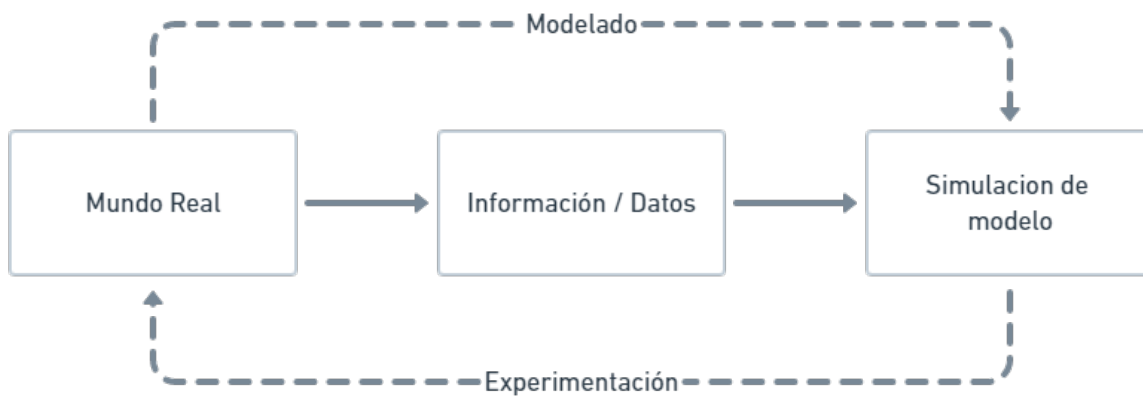
Existen distintas fuentes de inexactitud dentro de un plan de simulación y modelado que podrían realizarse a lo largo de los 3 pasos primordiales que se hallan en el periodo de vida de la simulación, a saber:

- Modelado.
- Datos sustracción y
- Experimentación.

El proceso de modelado incluye un grupo subordinado de pasos, a saber, el modelador comprensión del problema, después desarrollando un modelo tipo mapa mental o conceptual, y finalmente la codificación, la Figura 51 muestra de manera sencilla el proceso de modelado y simulación, la cual se complementa con los pasos mencionados a continuación y contemplando detalles que pueden por sí mismos, como:

- a) El modelo podría malinterpretar el problema,
- b) El modelo de mapa mental o conceptual puede ser incorrecto, y la conversión del mapa mental o conceptual a la codificación podría estar fuera de lugar.
- c) Además, a lo largo del proceso de modelado, la colección / estudio de datos es un componente clave del proceso, especialmente ya que los datos recopilados son realmente el acceso del programa de simulación, y si los datos se recopilan de forma imprecisa.

Figura 51
Proceso de modelado y simulación



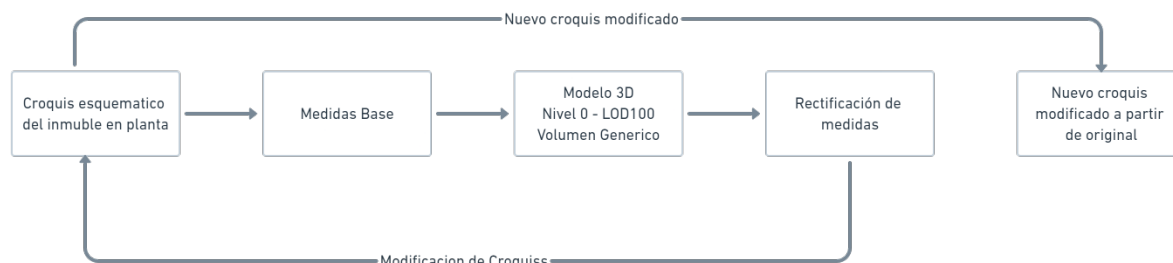
Nota: Modelo basado en Robinson, 1999, elaboración propia.

3.4.2. CONSTRUCCIÓN DE MODELO

El siguiente procedimiento es aplicable a edificaciones, construcciones e inmuebles existentes, los pasos varían según las herramientas con las que pueda contar la persona o el grupo encargado de desarrollar el levantamiento del inmueble, por otro lado, se deberán de precisar los niveles de detalle que se considerarán, ya que ser muy esquemático no cumplirá con los puntos básicos para desarrollar simulaciones en aplicaciones especializadas y de ser muy complejo, podría perjudicar los procesos de simulación si se cuenta con un equipo básico para el desarrollo de los estudios especializados.

Para la elaboración del modelo, se procedió a un levantamiento físico de las inmediaciones existentes, la Figura 52 muestra el proceso para realizar dicho levantamiento en sus diferentes etapas, dentro de estas, el primer paso fue la elaboración de un croquis esquemático que permite tomar las medidas perimetrales del inmueble, con ello se dibujó una masa volumétrica a la cual se le dio una altura para considerar un esquema general del edificio, posterior a ello, se desarrollaron nuevos croquis o elementos básicos por planta con las modificaciones necesarias y con las medidas aproximadas para la elaboración individual por planta o nivel con sus medidas específicas.

Figura 52
Procedimiento para elaboración de una planta a partir de croquis.



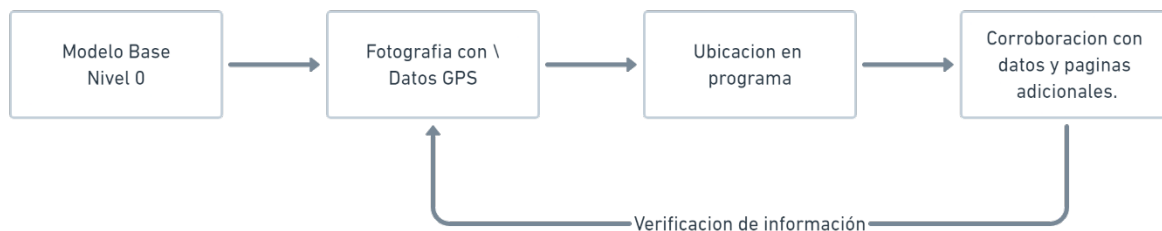
Nota: El formato presentado fue empleado para el levantamiento de datos para el modelo *BIM* de esta investigación, elaboración propia.

En esta etapa el modelo es considerado como genérico o Nivel 0, con detalles en LOD 100, a su vez, en este primer apartado, se tomó una fotografía de la fachada sur, con ello, se consiguieron los puntos GPS para ser ingresados dentro de *Revit Architecture*, como punto final, se procedió a corroborar la información proporcionada por el programa mediante el uso de la

página de Andrew Marsh, realizando una simulación rápida de sombras dentro de la aplicación *3D Sun Path*, la Figura 53 se muestra el procedimiento para realizar la incorporación de las coordenadas dentro del modelo *BIM*, este procedimiento debe ajustarse según las necesidades de cada proyecto, los datos se pueden recolectar desde equipos especializados o en dado caso, desde un teléfono que cuente con datos GPS incorporados, el archivo generado para esta investigación fue nombrado Valle_de_las_Palmas_MYDAUD_Pruebas, en una primera instancia.

Figura 53

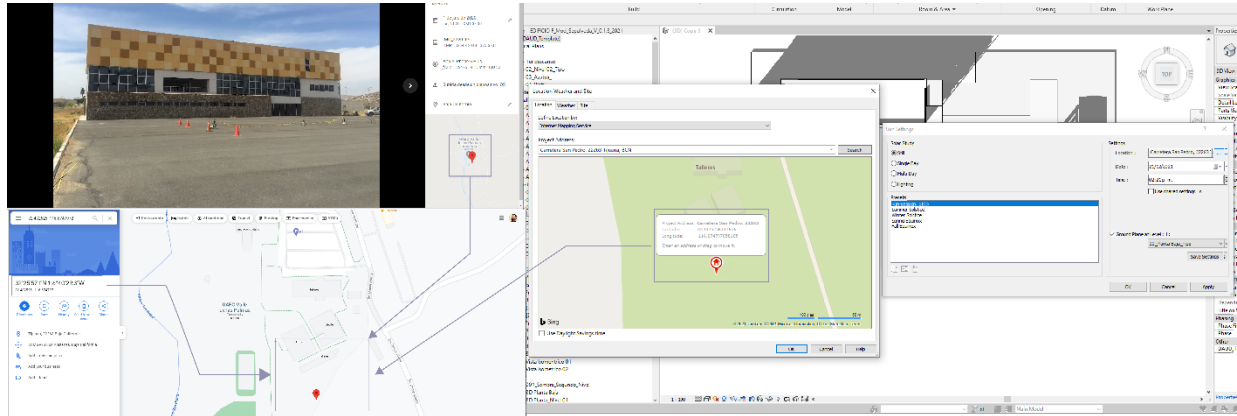
Modificación de croquis a modelo Nivel 0.



Nota: El procedimiento aquí mostrado considera las modificaciones de coordenadas dentro del modelo tridimensional para el desarrollo de geometría solar en caso de requerirse. Elaboración propia.

La Figura 54 muestra la incorporación de datos de geolocalización para el modelo se incorporó a partir de una fotografía y *Google Maps*. Dando seguimiento a la imagen anterior, dentro del programa de *Revit Architecture*, se deberá indicar la ubicación del inmueble, esto se puede hacer de dos formas, la primera es mediante el uso de: *Sun Settings>Solar Study>Still>, <In-session, Still>, >Settings>Location>Project Address*, el segundo medio sería el hacer uso de *Manage>Location* e ingresar los datos de *manera directa*.

Figura 54
Incorporación de datos de geolocalización

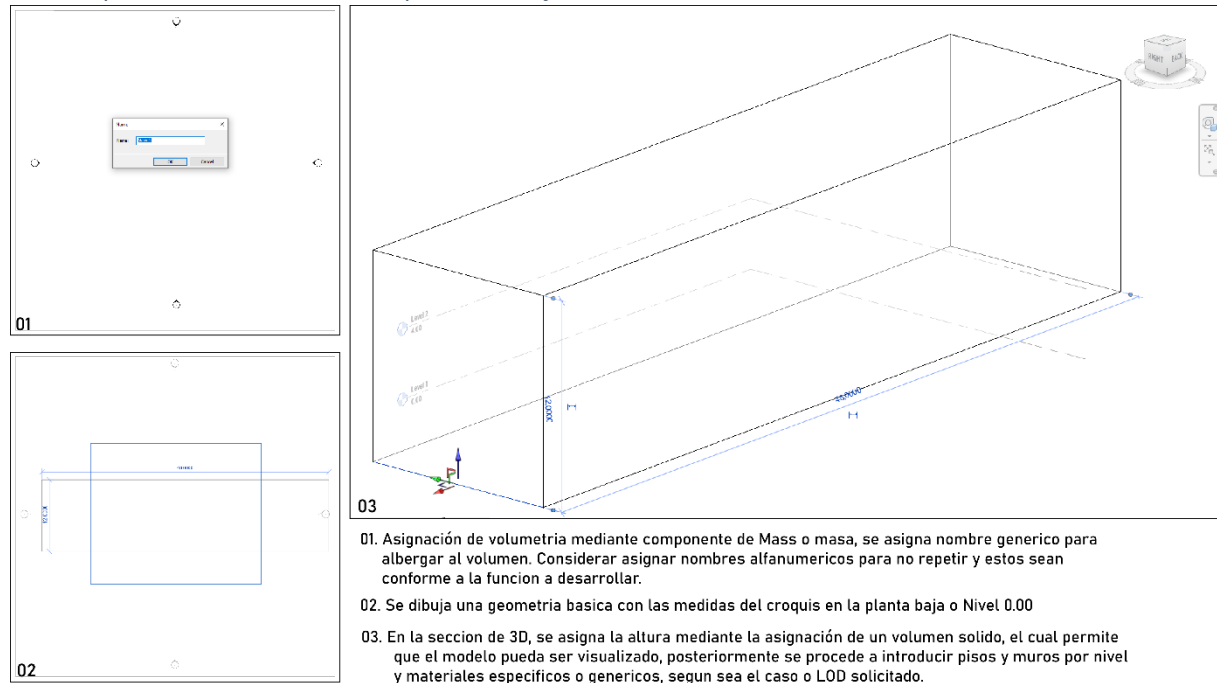


Nota: la incorporación de datos de geolocalización para le modelo se incorporó a partir de fotografía y Google Maps, seguimiento de imagen anterior. Elaboración propia.

Una vez introducidos los datos de geo referencia, *Revit* busca los datos climáticos de alguna estación climática cercana, no obstante, esto no significa que hará uso de ellos, ya que para esto cuenta con aplicaciones externas como *Autodesk Insite* la cual permite realizar simulaciones en la nube con un costo en créditos de moneda virtual regulada por *Autodesk*. La elaboración de volumetría o masas se pueden consolidar en 3 sencillos puntos, para ello se necesitan solamente las medidas aproximadas del volumen, en el caso del Edificio F, estas fueron 48.00m de largo, 12.50m de ancho y 12.00m de alto, con estas medidas iniciales se procedió a generar la primera volumetría como se muestra en la Figura 55.

Figura 55

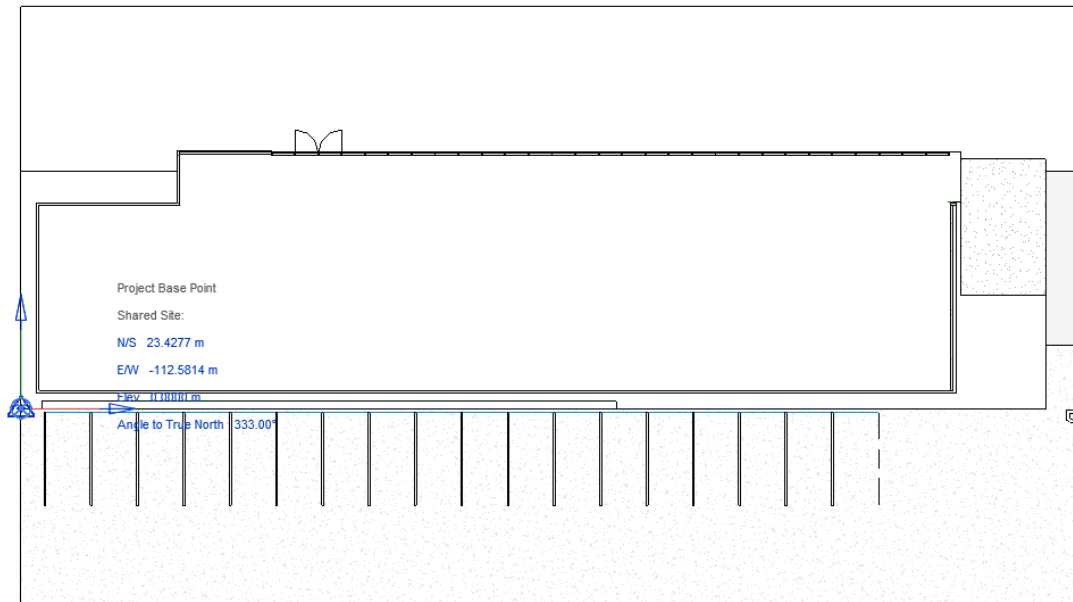
Proceso para crear una volumetría a partir de dibujo 2D



Nota: La figura anterior nos muestra el proceso para crear una volumetría a partir de un dibujo 2D es muy común en la etapa inicial del proyecto y se implementan herramientas de sólido dentro del programa. Elaboración propia.

La Figura 56 muestra otro de los puntos importantes al momento de la preparación de los datos para el archivo donde se desarrollará el modelo tridimensional, es la implementación del punto de inicio o punto cero del proyecto, en los programas de modelado vectorial como *AutoCAD* o *Rhinoceros 3D*, normalmente se implementa como Punto (0,0,0), no obstante, *Revit* utiliza un formato distinto, el cual se basa en las coordenadas asignadas así como en un sistema que se encuentra en la pestaña de *Site* o de escala a nivel urbana (es representada con una escala superior a 1:200), dentro de esta se aprecian las vistas y otros elementos de simbología de manera incorrecta, en este punto se recomienda esconder las categorías, elementos y/o simbologías que no pretendan ser utilizados, además, verificar que la vista corresponda a una vista de azotea o de último nivel, verificando nombres, alturas y escala de dibujo.

Figura 56
Identificación del punto 0 o inicio del modelo



Nota: Se debe Identificar el punto (0,0,0) dentro del modelo para que los archivos tengan coherencia al momento de efectuar los procesos de interoperabilidad entre estos. Elaboración propia.

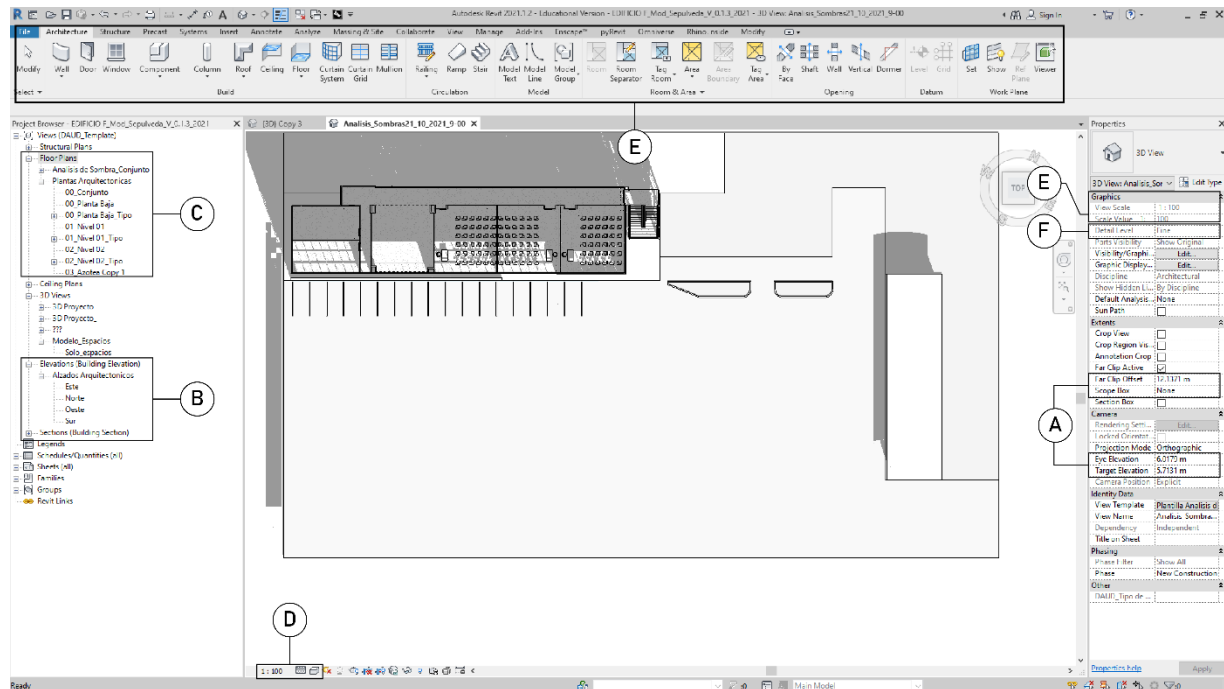
Dentro de los preparativos de la plantilla del proyecto se deberán verificar los siguientes puntos:

- Unidades del proyecto.
- Escala de Vistas
- Nombres de las vistas, alzados y plantas
- Calidad de visualización, estilo y escala.

Al tener la cantidad básica de materiales, muros y elementos constructivos ubicados dentro del croquis o plano de trabajo a LOD 100 o diseño volumétrico genérico, se deberá proceder a la incorporación de los ejes básicos del proyecto, tomando en cuenta que posteriormente se podrán incorporar nuevos elementos que no fueron considerados dentro del levantamiento inicial, a su vez, se deben integrar los distintos niveles y alturas, estos ayudarán a conectar y limitar elementos, dentro de los cuales se debe contemplar la existencia de muros perimetrales, muros interiores, muros cortina, muros de carga, muros divisorios, etc.

Cada uno de estos podrá contener una o varias capas de materiales, por lo cual, se debe verificar en planos existentes o revisar en sitio las características de los elementos antes mencionados. Dentro de la Figura 57 podemos observar de manera simplificada la interfaz del programa de Revit, esta explica de manera sencilla donde se encuentran los elementos principales.

Figura 57
Interfaz de Revit Architecture



Nota: La figura muestra los puntos principales de la interfaz de Revit, estos son desglosados en la Tabla 20, elaboración propia.

Dentro de los elementos a considerar en Revit, para alcanzar un Nivel 2 de trabajo combinado con un LOD 350, es necesaria la aplicación de capas, materiales y espesores a los elementos como muros, ventanas, pisos, plafones, azoteas y detalles que logren llegar a interferir en un análisis de Diseño Lumínico, tal como lo define la ASHRAE en su estándar 209 que deben evaluar las opciones al principio del proceso de diseño, no obstante, en el caso de este proyecto, será rectificar los elementos con los que se cuentan actualmente dentro del inmueble, así como en espacios circundantes que pueda presentar o representar un obstáculo que modifique a menor

o mayor escala los estudios y simulaciones a realizar (Ghobad, 2018; J. E. Lee et al., 2018; Overbey, 2018).

Tabla 20
Desglose de interfaz de Revit

Elemento	Nombre	Nomenclatura	Descripción
Unidades	Unit	A	Las unidades pueden cambiar y dependen del modelo, para arquitectura en sistema métrico se recomienda utilizar la sección de common, a su vez, esta puede variar por el tipo de dibujo o detalle, se recomienda utilizar metros (m) con dos decimales para la mayoría de los casos, simbología de \$ a dos decimales, grados (°), entre otros elementos aquí.
Vistas	Elevation	B	Los alzados están vinculados a una simbología específica y pueden llegar a tener una relación entre rango de visión y ubicación de la misma, a su vez pueden ser en 2D y 3D.
Vistas	Floor Plan	C	Las plantas arquitectónicas pueden llegar a tener una relación entre rango de visión y ubicación de la misma, estas solo se pueden visualizar 2D, salvo cortes específicos dentro de 3D que permitan ver detalles específicos.
Estilo	Visual Style	D	El estilo de visualización permite visualizar el proyecto en colores sólidos, blanco, negro y gris, texturas reales aplicadas a los materiales o en renderizado.
Escala	Scale	E	La escala puede ser visualizada en sistema métrico o sistema internacional y tendrá una relación con las unidades del proyecto.
Nivel de Detalle	Development Level	F	Permite visualizar a distinto detalle los acabados dentro de un proyecto, estos se dividen en 3: Genérico, Normal y Fino, se recomienda trabajar en Fino para visualizar la mayor cantidad de detalles dentro del proyecto.
Elementos de Trabajo	Ribbon	G	El ribbon o elementos de trabajo dentro de Revit se ha mantenido constante desde su aparición en la versión 2010

Nota: La tabla anterior desglosa aquellos elementos señalados dentro de la figura para el desarrollo de un modelo volumétrico dentro de la interfaz de *Revit Architecture*

Otro de los aspectos importantes dentro del modelo, son las características de los materiales, *Revit* contiene una gran cantidad de materiales que pueden ser implementados y sustituir a los que son programados de manera básica, no obstante, se desarrolló un algoritmo basado en código *Python* para integrar materiales que logre llegar a ser regionales o que no estén incorporados de manera nativa. Dentro de las deficiencias básicas que trae *Revit*, es la falta de detalles que pueda ser aplicadas de manera directa a muros, cancelas y pisos, por lo general, los sistemas constructivos están pensados en los sistemas: Norte Americano, europeo, Euroasiático y asiático, lo que sitúa al mercado Latinoamericano en una desventaja, ya que los sistemas constructivos que son empleados en la mayoría de las construcciones no están basados en los sistemas básicos con los que cuenta el programa.

Una vez identificados e implementados todos los elementos de muros, muros cortina, plafones, pisos y techos, se deberán corroborar las texturas y los patrones de superficie, corte y detalle, estos deberán ser aplicados como simbología de modelo para no modificar el sentido de la aplicación de estos, ya que, de aplicarse como simbología normal, esta puede modificar su sentido si se realiza un corte en isométrico o a dos puntos.

Al obtener el inmueble en modelo 3D, se deben corroborar las medidas de apertura, vanos, puertas, ventanas, así como alturas. Posteriormente se deberá corroborar que la ubicación georreferenciada y, por último, revisar los materiales y sus atributos, con ello se tendrá el modelo con las características necesarias para obtener los elementos hacia el desarrollo de las simulaciones. En la cuestión del inmueble como caso de estudio, se recrearon la mayoría de los elementos arquitectónicos, quedando pendientes los relacionados con instalaciones eléctricas, hidráulicas, sanitarias y estructurales, ya que, por la naturaleza de esta investigación, no son requeridas para las simulaciones de luz natural dentro de los espacios.

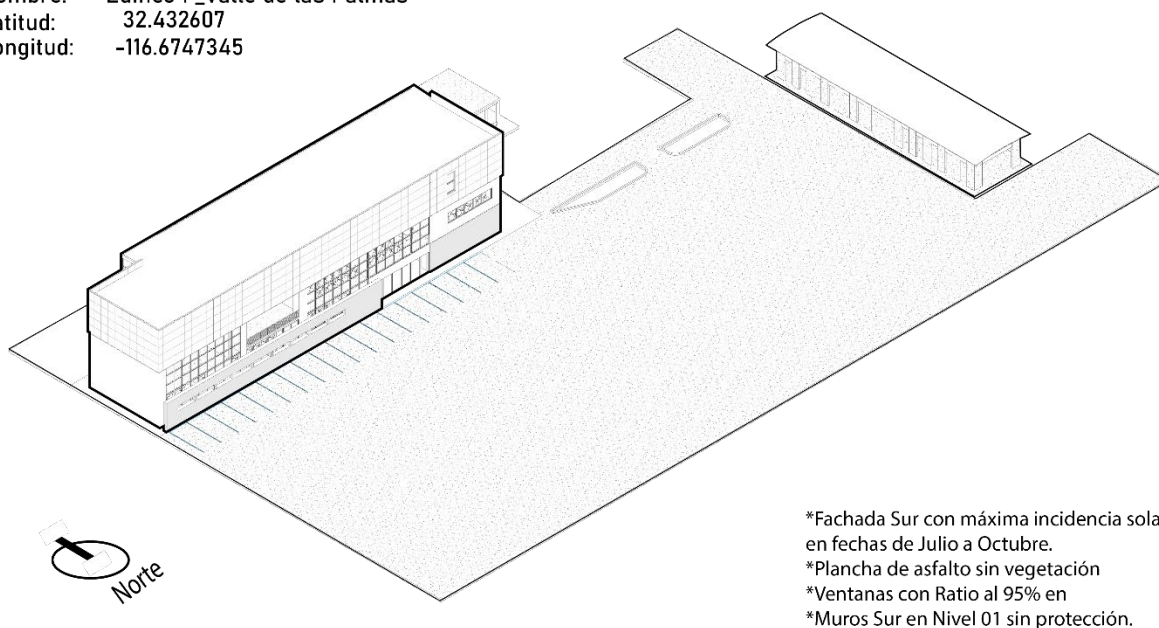
3.4.3. VALIDACIÓN, VERIFICACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MODELO.

Para el proceso de validación, verificación y visualización de la información desarrollada en la presente investigación, tanto del modelo tridimensional del edificio F, como de la información de geo referencia, datos climáticos interpolados y aquellos relacionados con el recorrido solar, así como el impacto lumínico al interior de los distintos espacios donde se realizaron las simulaciones, se utilizó dato internos de *Revit Architecture* mediante la proyección de sombras en planta, corte y alzado, a su vez, se recolectaron los datos de la página de *Andrew Marsh 3D Sun Path* (Marsh, 2014) en formato .csv, estos se cotejaron con los ángulos dentro de ambos programas a utilizar.

Originalmente se utilizaría *Revit Architecture* para la mayoría de las simulaciones, con la finalidad de implementar las ventajas que otorga el programa, un ejemplo puede apreciarse en la Figura 58, donde se puede reconocer la visualización de una vista isométrica del edificio, no obstante, por motivos ajenos a los estudios aquí desarrollados, fueron corroborados posteriormente con el programa de *Rhinoceros 3D* para verificar la proyección de sombras entre los programas de *Revit* y *Rhino3D*, por último, se realizó una revisión del archivo de Valle de las Palmas.epw que contiene datos climáticos interpolados en la plataforma de *Grasshopper* dentro de la aplicación de Ladybug y estos fueron cotejados con la información de las estaciones meteorológicas del aeropuerto internacional de la ciudad de Tijuana, la presa Abelardo L Rodríguez y con información de estaciones meteorológicas en Estados Unidos con características similares a la zona de Valle de las Palmas en la zona costa del sur de California y zona semidesértica como lo indica el Estándar *ASHRAE 169*

Figura 58
Isométrico de edificio F.

Nombre: Edificio F_Valle de las Palmas
Latitud: 32.432607
Longitud: -116.6747345



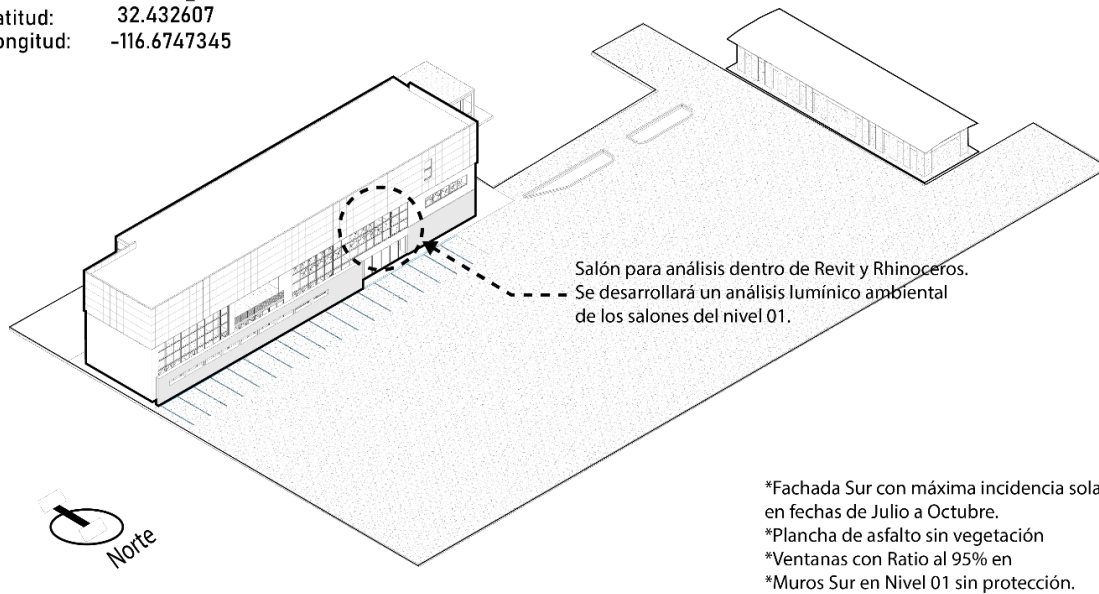
Nota: La figura anterior muestra el inmueble en conjunto de estacionamiento y parada de autobús, Elaboración propia.

Dentro de los datos internos del modelo tridimensional, se renderizó para corroborar detalles generales, proyección de sombras y zonas con iluminación natural modificando vistas dentro del programa de *Revit Architecture*, verificando la orientación de norte del proyecto respecto al norte real del proyecto, y adquiere una variación de 27° de rotación contrarreloj, información que fue proporcionada en los nodos de *LadybugTools* para obtener gráficos y gradientes óptimos, para facilitar la interoperabilidad de información, se procedió a exportar los modelos en una orientación isométrica como se puede observar en la Figura 59.

Figura 59

Isométrico de edificio F, señalamiento del aula para análisis de iluminación.

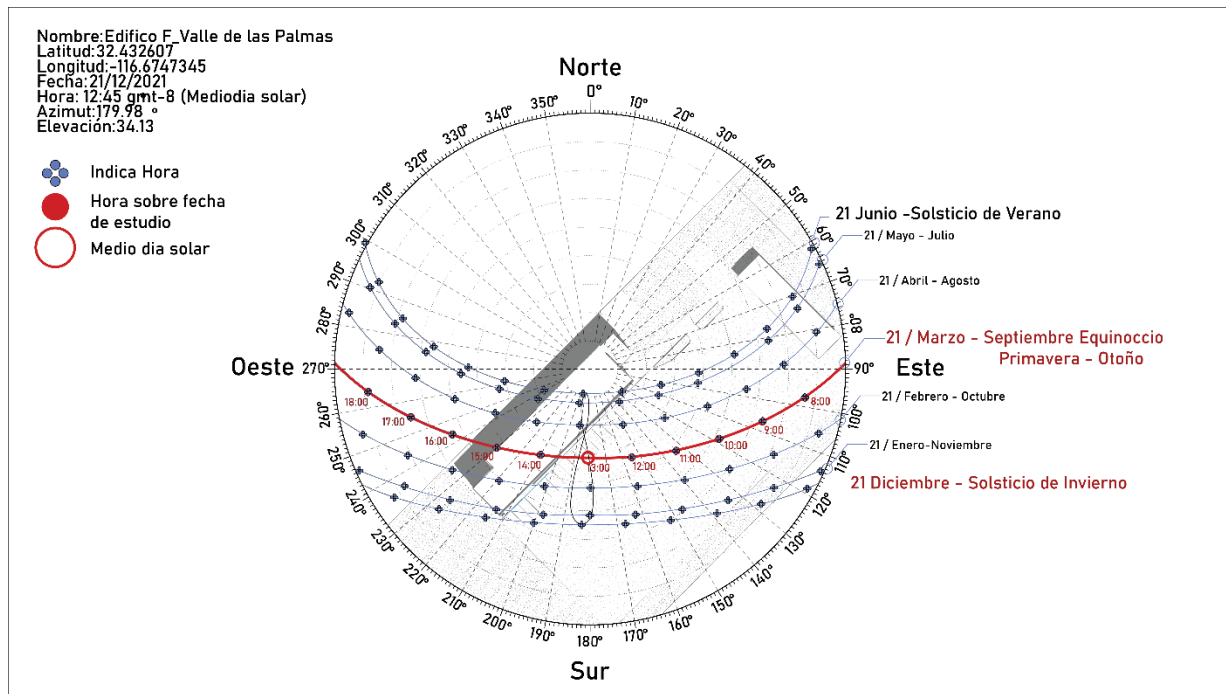
Nombre: Edificio F_Valle de las Palmas
Latitud: 32.432607
Longitud: -116.6747345



Nota: La figura anterior nos muestra el espacio/salón donde se realizarán las simulaciones necesarias dentro de los programas de cómputo correspondientes. Elaboración propia.

Los datos obtenidos de la página de Andrew Marsh (Marsh, 2014) fueron trasladados a tablas dentro de hojas de cálculo por los datos tipo csv, para generar plantillas o gráficas independientes de aquellas proporcionadas por la página, esto permite descentralizar datos obtenidos por medio de internet y generar elementos personalizados, un ejemplo sería la gráfica de altitud solar al sur como lo muestra la Figura 36, posterior a ello, se realizó la Figura 60 la cual fue procesada de manera manual utilizando los programas de *Rhinoceros 3D*, posteriormente fue detallada dentro de *Adobe Illustrator* para mejorar su presentación, dentro de *Illustrator* se pueden generar de forma sencilla la post producción de las gráficas, agregando datos para ser presentados y guardados en formatos tipo *.png*, *.jpg* o *.tiff*, en caso de no tener un programa de uso vectorial que pueda auxiliar la generación de las gráficas, se puede recurrir al uso de programas como *PowerPoint* de *Office*, *Keynotes* para Mac o bien, herramientas en línea como *Google Presentaciones*.

Figura 60
Sun Path de Valle de las Palmas.

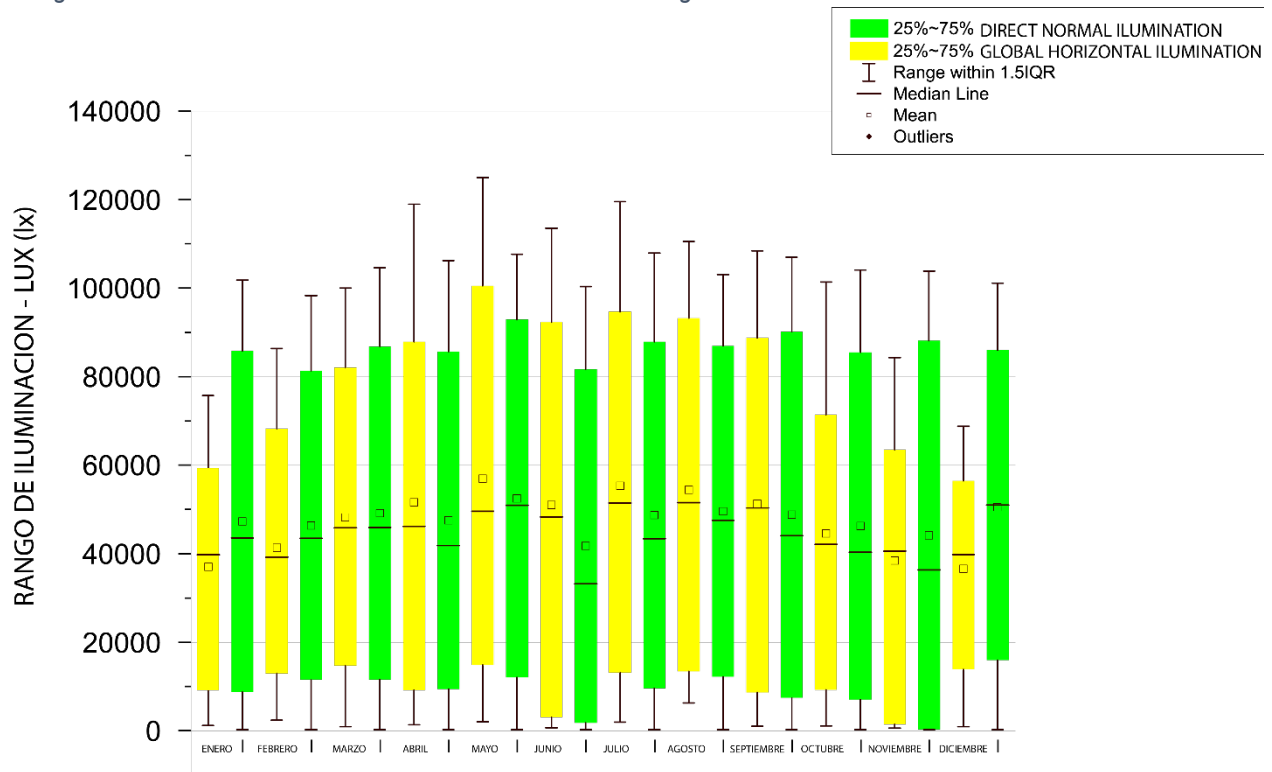


Nota: La figura anterior, muestra el 21 de septiembre como fecha principal para el desarrollo de las simulaciones aplicables a esta investigación. Elaboración propia basado en los datos obtenidos de la página de Marsh, (2014)

El modelo digitalizado cuenta con todos los elementos del edificio real, los cuales van desde la proporción de muro-ventana con la que cuenta actualmente el inmueble, un estacionamiento a base de pavimento asfáltico color negro al sur del inmueble, una parada de autobús al este, quedando pendiente los inmuebles al norte del edificio, los cuales comprenden el edificio E y G, los que serán agregados en trabajos subsecuentes para realizar simulaciones del entorno, buscando apoyar a las investigaciones para lecturas de isla de calor o similar que pueda ser resultado de participación en otros trabajos posteriores. La Figura 61, muestra los rangos de iluminación utilizados para las distintas simulaciones, estas se basaron en los datos proporcionados dentro del archivo climático interpolado, indicando de manera en conjunto, la iluminación global y la directa.

Figura 61

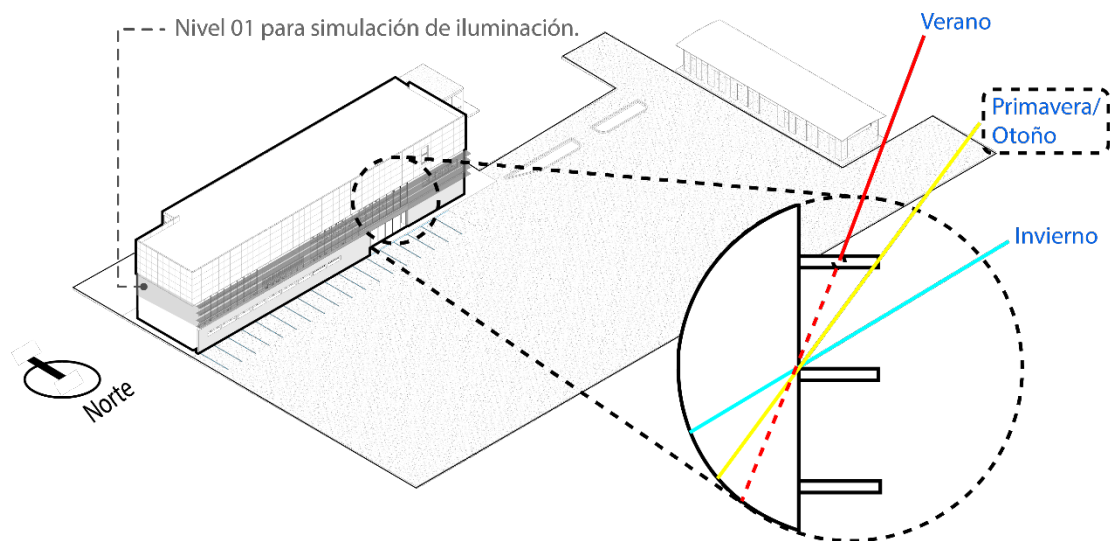
Rangos de niveles de iluminación normal directa e iluminación global directa.



Nota: La figura muestra los resultados mínimos, máximos y promedio de iluminación Global y Normal. Elaboración propia basado en datos de (Marsh, 2020).

Por su parte, la Figura 62 muestra la primera propuesta de protección pasiva para las aulas de nivel 01 con mayor impacto de iluminación directa al interior por la proporción muro-ventana en fachada sur, esta primer propuesta sirve como base para los parámetros a emplear dentro del proceso de diseño generativo, la imagen, muestra la incidencia de los vectores solares con referencia a los equinoccios y solsticios, no obstante, se requieren distintos procesos para determinar la cantidad de elementos, la distribución o bien, ángulo de inclinación para permitir la vista desde el interior del aula hacia el Valle, evitando la entrada directa del rayo de luz directo al espacio.

Figura 62
Propuesta de elementos pasivos de protección en ventana



Nota: La anterior nos muestra la primera propuesta elaborada de manera manual de elementos pasivos de protección en ventana, a su vez, los vectores de como inciden los rayos solares referente a los equinoccios y solsticios, Elaboración propia.

Con el modelo digitalizado e identificado el problema principal, se procede a la elaboración de los algoritmos que ayudan a realizar el análisis y las propuestas de diseño para mejorar los espacios antes mencionados, cabe señalar que aquellos procesos como el levantamiento de medidas del inmueble, se pueden agilizar si se cuenta con 2 herramientas adicionales, al ser estas un Dron para fotogrametría y un Radar *Lidar* para levantamiento de nubes de puntos.

4. CAPÍTULO IV. EL DISEÑO DE LA SIMULACIÓN

“Contemporary avant-garde architecture is addressing the demand for an increased level of articulated complexity by means of retooling its methods on the basis of parametric design systems. The contemporary architectural style that has achieved pervasive hegemony within the contemporary architectural avant-garde can be best understood as a research programme based upon the parametric paradigm. We propose to call this style: Parametricism.” (Schumacher, 2008)

Patrik Schumacher, London 2008

Dentro del siguiente capítulo, se muestran los distintos procesos de exploración y exportación de datos más adecuados al procedimiento de interoperabilidad *BIM*, implementado dentro de esta investigación la cual recurre al uso de distintos elementos, aplicaciones y programas especializados, así como el desarrollo de nodos en lenguaje *Python* o código de bloque, para el correcto funcionamiento de los algoritmos desarrollados.

Dentro de dichos procesos utilizados se encuentra un conjunto de nodos, códigos de bloque y elementos para lectura de interface que funcionan como elementos complementarios personalizados para obtener resultados replicables por otros usuarios, estos están elaborados y desarrollados en su mayoría dentro de lenguaje *Python*, o bien de manera directa utilizando el esquema del lenguaje interno de programación mediante nodos que permiten la comunicación o interoperabilidad entre programas de cómputo especializado, como es el caso de *Rhino.Inside* de *McNeel*.

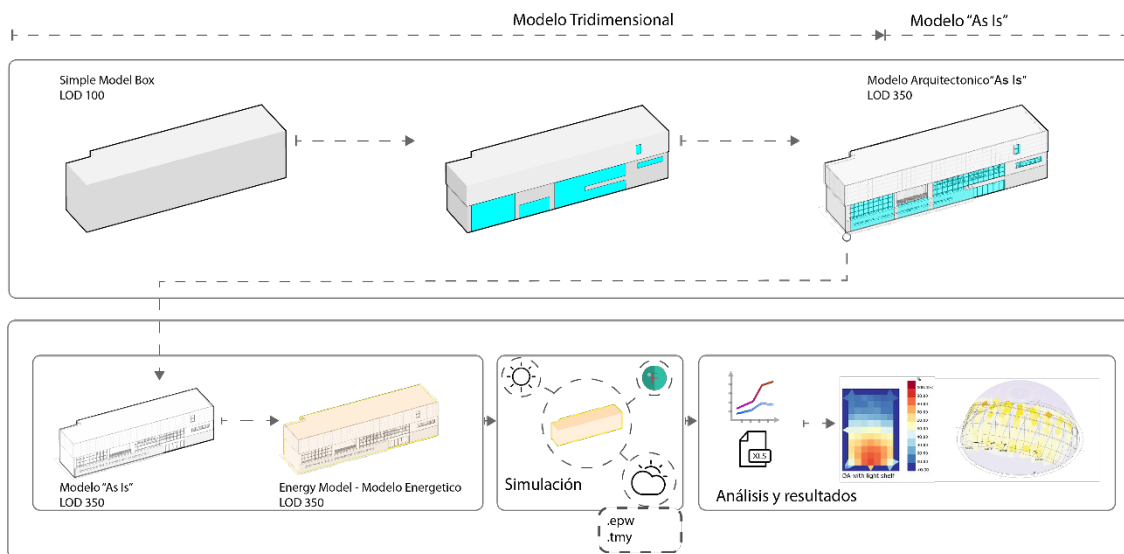
Este último conjunto de elementos forma parte de procedimientos alternativos para el diseño y análisis lumínico, ya que a partir de la programación visual y programación de texto; dichos elementos están fundados en datos obtenidos de literatura especializada e implementada, solamente el uso de programas de cómputo especializados, los cuales en su mayoría están bajo licenciamiento de paga, no obstante, vagamente son explorados nativamente dentro de la tecnología *BIM* por la falta de acceso a los códigos de programación interna en los programas de modelado *BIM*, ya que su implementación a inmuebles y proyectos arquitectónicos en proceso de diseño ya existentes necesitaría paquetes e interfaces que permitan una interoperabilidad para el usuario promedio (Pärn y Edwards, 2017; M. S. Roudsari y Pak, 2013; Sampaio, 2017; Trubiano et al., 2013).

El proceso se dividió finalmente en 2 partes, esto debido a constantes actualizaciones dentro de las diversas versiones en la programación interna del programa de *Revit Architecture* por un lado y *Dynamo* por el otro, ya que en el transcurso de las versiones 2018, 2019, 2020 y 2021, se realizaron cambios significativos, los cuales llegaron a cancelar nodos y códigos en la programación, esto impidió que la trayectoria original se siguiera desarrollando los nodos dentro

de *Dynamo* y se tuviera que emigrar a *Rhinoceros* 3D para finalizar con las simulaciones específicas de aquellos elementos para realizar un comparativo entre datos lumínico del inmueble que se tomó como caso de estudio.

Al tener como objetivo principal utilizar e implementar elementos basados en programación visual, para mejorar las propuestas de diseño y optimización de recursos energéticos y brindar confort al interior de los espacios por medio de simulaciones digitales, interoperabilidad y procesos interdisciplinarios, y ser estos dentro del entorno de *Revit Architecture* para los modelos tridimensionales y *Rhino.Inside Revit* para el uso de las herramientas de Ladybug Tools, ya que esta última puede realizar simulaciones Lumínico, ya que esta cuenta con acceso a los programas como *Open Studio* y *Radiance* utilizando la aplicación del código (Mackey y Roudsari, 2018).

Figura 63
Modelo de simulación con archivos interoperables en BIM.

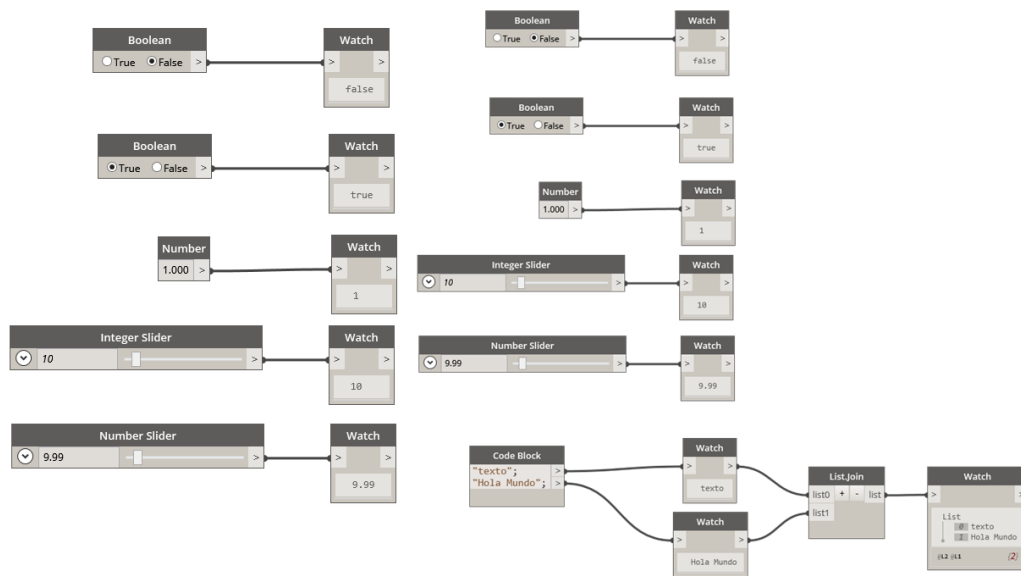


Nota: La figura anterior nos muestra el modelo de simulación deseable a ser implementado en todo tipo de proyectos con archivos interoperables en *BIM*, tener como limitante los equipos de cómputo en vez de licenciamiento.

4.1. PROGRAMACIÓN *PYTHON* PARA DYNAMO

Para el desarrollo de elementos faltantes dentro del entorno de *Revit*, se desarrolló e implementó el uso de *Python Script*, un nodo dentro de *Dynamo* el cual permite realizar una comunicación entre distintos tipos de archivos o la ejecución de acciones sistematizadas. La Figura 64 muestra los distintos formatos de interacción que existen entre nodos para un mismo uso dentro de *Dynamo* para *Revit Architecture*.

Figura 64
Visualización de nodos esenciales de *Dynamo* para *Revit Architecture*.



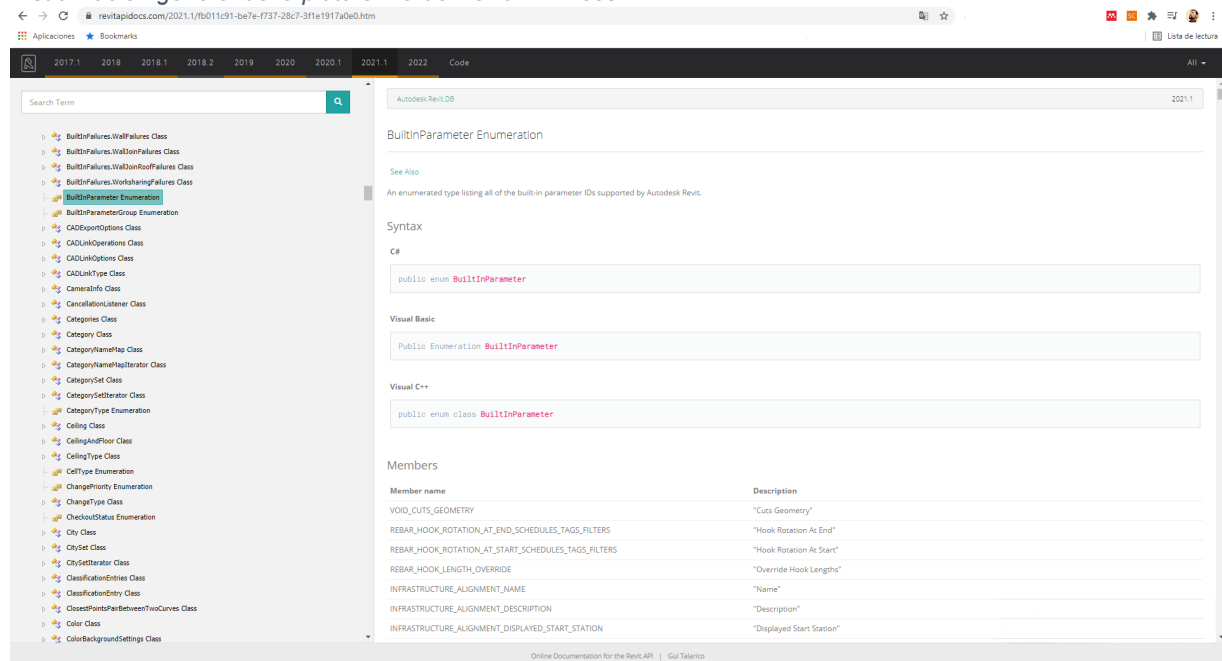
Nota: La figura anterior muestra los distintos formatos que existen entre nodos para uso similar dentro de *Dynamo* para *Revit Architecture*. Elaboración propia.

El lenguaje de *Python* permite el desarrollo de una serie de acciones dentro de *Dynamo* y *Revit* a su vez, cada algoritmo, tiene como función principal el introducir o recuperar uno o varios datos dentro del entorno de *Revit*, esto permite un formato aditivo de información previamente estructurada o la extracción de datos o imágenes resultantes de una o varias acciones programadas (Kensek, 2014), un ejemplo sería introducir las características particulares de los materiales implementados en Latino América, ya que el programa carece de información regional

o sistemas constructivos ajenos al sistema tradicional Norteamericano o Europeo, dejando en una clara desventaja al sector antes mencionado.

Para facilitar el uso de este tipo de lenguajes, actualmente se tienen compendios o repositorios de las acciones que puede llegar a desempeñar *Revit Architecture*, uno de estos está dentro de la plataforma *Revit API Docs* (Talarico, 2016) tal como se puede apreciar en la Figura 65, esta plataforma cuenta con la peculiaridad que fue elaborada y desarrollada inicialmente por un usuario no especializado en lenguaje de programación por texto, muestra una pantalla general donde se busca la sintaxis o código para el desarrollo de un parámetro de enumeración, dentro de esta se aprecia su expresión en lenguaje *C#*, *Visual Basic* o *Visual C++*, lenguajes comúnmente empleados para el desarrollo de archivos tipo *DLL*, en nuestro caso específico, el lenguaje de programación a emplear en los distintos nodos personalizados será en *Python* y *C#* sintetizado, este último, exclusivamente en códigos de bloque en *Dynamo*.

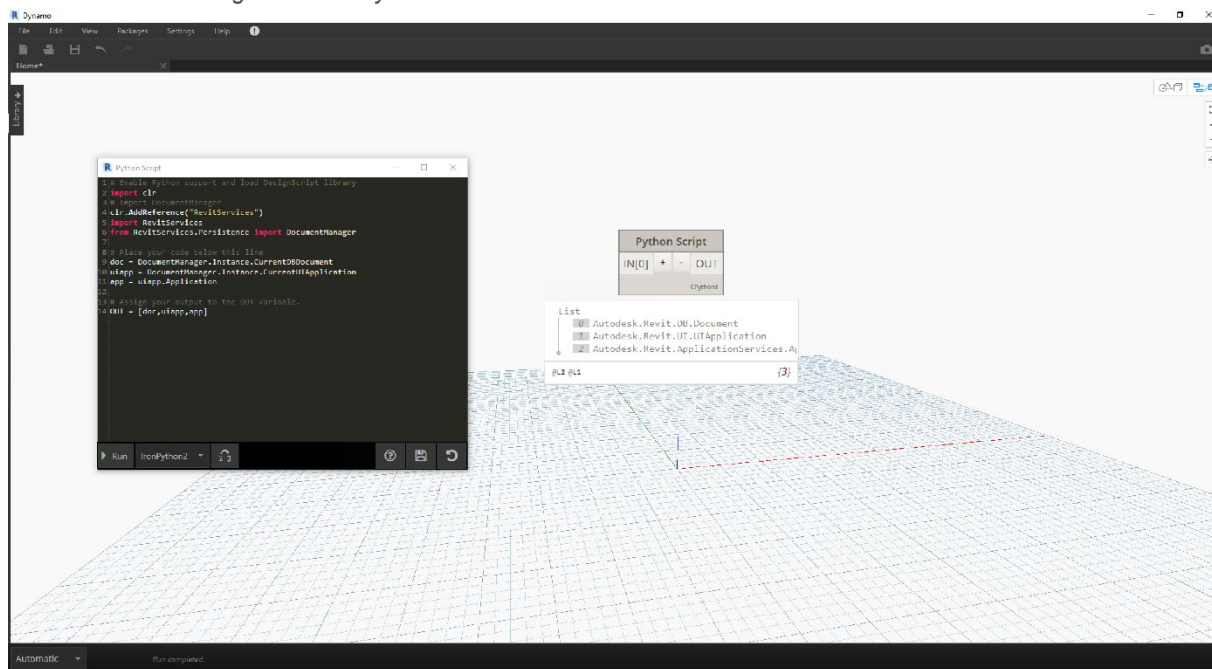
Figura 65
Visualización general de la plataforma de Revit API Docs.



Nota: Recuperado el 11 de marzo de 2021 de Revit API docs (Talarico, 2016).

Dentro de los algoritmos desarrollados en esta investigación, se implementaron códigos personalizados que recopilan y sobre escriben información para la elaboración de listados de nuevos materiales, el cual consiste en otorgar un nombre específico, y un valor U del mismo, en estos casos, los materiales agregados ajenos al programa de *Revit Architecture*, deberán respaldarse por bases de datos de una dependencia u organismo reconocido, o en dado caso, de la hoja técnica del proveedor de dicho material. La Figura 66 muestra un nodo *Python Script* típico de *Dynamo*, originalmente la información interna de este elemento contiene datos básicos para usuarios no especializados pueda ver el comportamiento de las líneas de código, los colores y las jerarquías que estos representan, también dentro de la misma figura se aprecia en dos partes el comportamiento del mismo nodo, a la izquierda se visualiza el lenguaje de texto abierto sobre un recuadro en tono oscuro donde se escribirán los comandos necesarios para su correcto funcionamiento, a la derecha el nodo simplificado con una entrada y una salida.

Figura 66
Visualización de código de nodo *Python*



Nota: La figura anterior nos muestra el nodo *Python Script*. Elaboración propia.

La Figura 67 muestra un ejemplo del comportamiento de las líneas de código de texto dentro del nodo *Python Script*, el cual tiene dos entradas para recibir elementos en “X” y “Y” por medio de los INT[0] e INT[1], si bien, el nodo en si no cumple una función específica especializada, ayuda como referencia para señalar los aspectos desarrollados especialmente con las líneas que ayudan a identificar la información personalizada, es importante recalcar que los comandos y funciones especializadas deben estar en idioma inglés, aquellas que se muestran en la figura en español, no realizan una acción dentro de *Dynamo*.

Figura 67
Código de texto Python

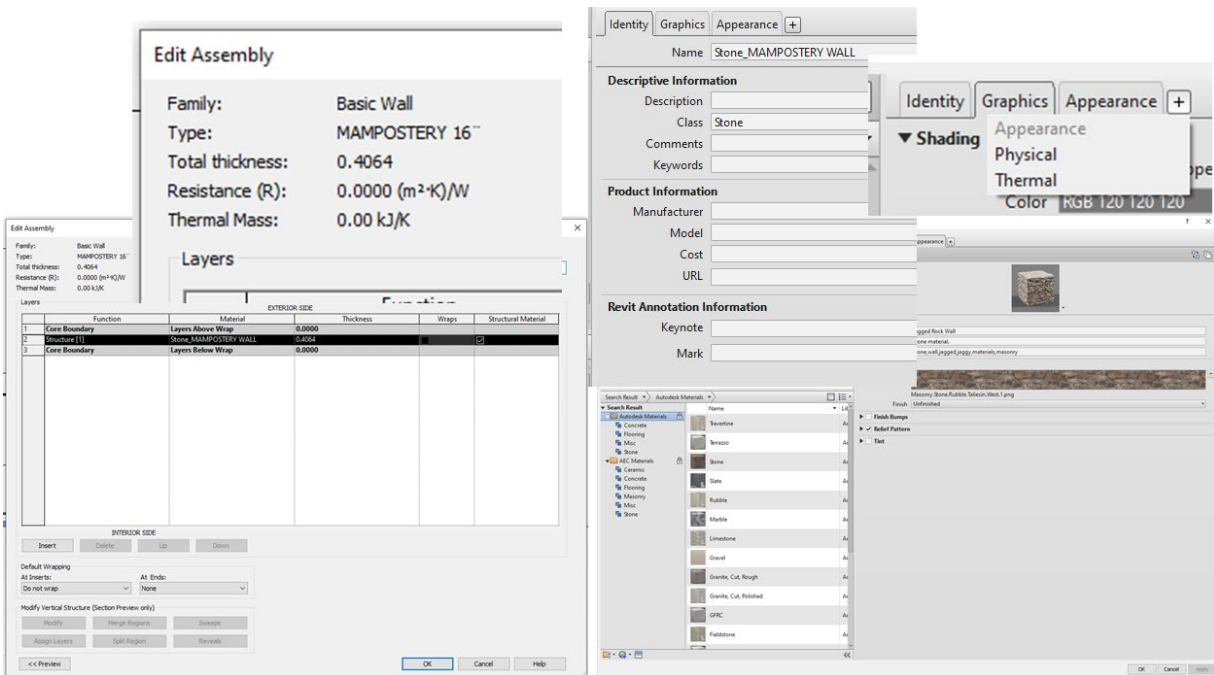
```
# Selección de index_UABC_FIAD_MYDAUD_00163577
#Guillermo Sepulveda_Linea1_Arquitectura y medio ambiente_
#Return element index_use for walls on the project
#input list
x = IN[0]
#Input a int
y = IN[1]
#Para crear una función_x_ y _y_ en nuestra funcion sera por medio de
() como argumentos,
#donde [] seran implementados como output/resultados/
def GetItem(x,y):
    #aqui la funcion mostrara una serie de elementos con la función mayor
    que _>_ donde debemos
    #buscar el listado de int_para obtener los resultados, deberemos buscar
    en el index/indice.
        if len(x) > y:
            return (x[y])
    #en carso de no encontrar un listado para regresar, implementar else
    else:
        return("elemento no existe")
    # Salida sera un strign como int.
    OUT = GetItem(x,y)"
```

Nota: La figura anterior nos muestra las líneas de código de texto dentro de *Python Script*, el nodo esta personalizado para realizar la función de obtener información específica, el código *Python* fue creado para funcionar dentro de *Dynamo*. Elaboración propia.

Dentro de las funciones desarrolladas, es la ejecución de un algoritmo de manera manual, este consiste en 3 partes, las cuales se explican a continuación:

Primero se identifica el o los materiales a modificar dentro del entorno de *Revit Architecture*, generalmente, los sistemas constructivos con los que cuenta el programa de forma predeterminada, no corresponden a la realidad de materiales y/o sistemas constructivos de América latina, por ende, se deberá buscar la modificación de muchos de los materiales a emplear, para el modelo de modificación de manera automatizada, se eligió a manera de ejemplo un material de piedra, el cual es un muro de mampostería de 40 cm de ancho, por ser nuevo, este no cuenta con características físicas o térmicas dentro del programa, el cual se puede observar en la Figura 68 donde carece de datos de resistencia (R) ni masa térmica (kJ/K), para el gráfico de textura se utilizó una imagen genérica y a su vez, una aplicación de *pattern* de *AutoCAD* que haga función de textura en superficie sobre el elemento de modelo.

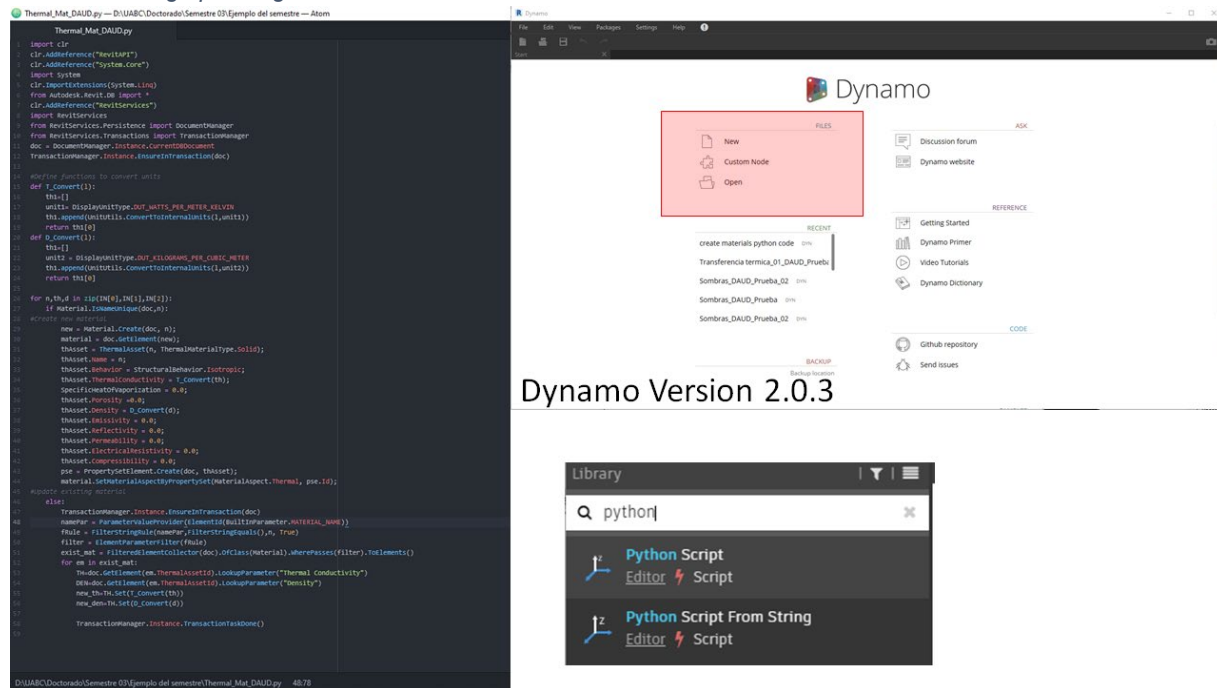
Figura 68
Creación de nuevo material.



Nota: La Figura 68 muestra que el material no cuenta con masa térmica ni resistencia en R. Elaboración propia.

Posterior a ello, se procede a utilizar *Dynamo*, la versión para la ejecución del *script* de *Python* fue *Dynamo V_2.0.3*, como lo muestra la Figura 69, es importante señalar que paulatinamente se utilizó el programa de *Atom* para visualizar los códigos antes de ser empleados dentro de *Dynamo*.

Figura 69
Líneas de código para ingresar nuevos materiales

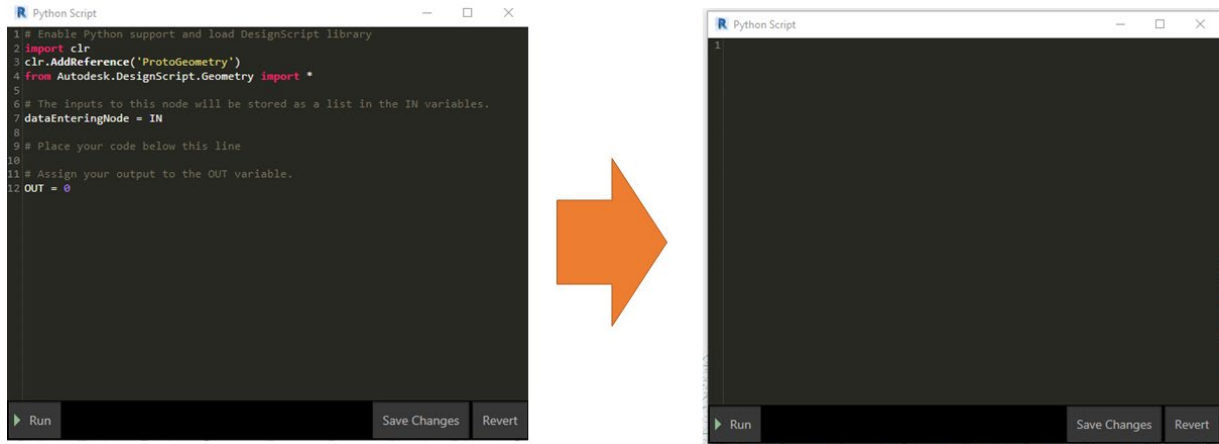


Nota: La figura anterior muestra la pantalla de la aplicación *Atom* para revisar el correcto funcionamiento, posteriormente se trasladaron a un nodo de *Dynamo*, el código permite ingresar nuevos materiales. Elaboración propia.

Una vez abierto *Dynamo* con un archivo nuevo, se procede a buscar el nodo de *Python*, el cual, contiene información básica, la cual permite ingresar datos, pero este no cumple con ninguna función específica, por ende, se procede a borrar toda la información interna, para ello, se deja el nodo sin ningún dato al interior como lo muestra la Figura 70.

Figura 70

Proceso de preparación de código Python en Dynamo 01. Elaboración propia.

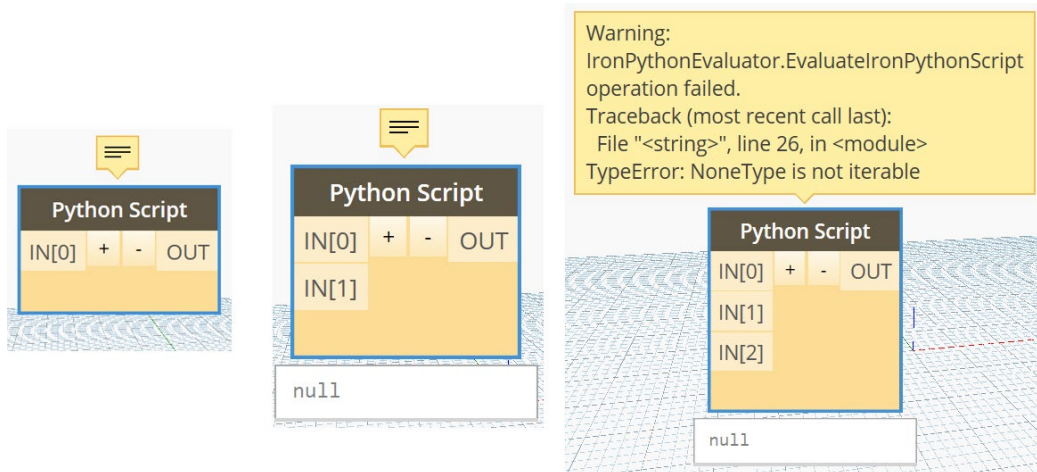


Nota La figura anterior nos muestra el proceso de limpieza de un nodo de lenguaje de programación *Python* dentro de Dynamo para integrar elementos adicionales. Elaboración propia.

El código ingresado dentro del nodo de *Python script*, buscará ser personalizado para integrar los datos necesarios en su correcto funcionamiento, en la Figura 71, se puede observar como este requiere 3 elementos de información para poder realizar las tareas requeridas.

Figura 71

Proceso de preparación de código Python en Dynamo 02. Elaboración propia.

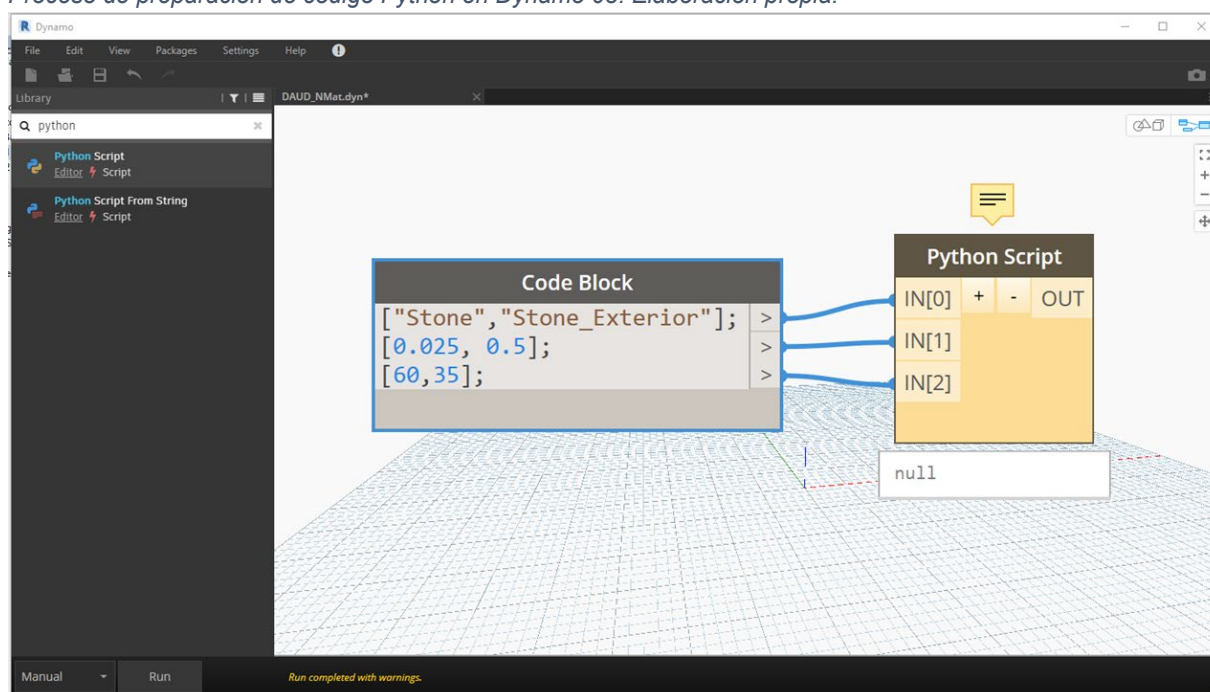


Nota La figura anterior muestra las primeras iteraciones para integrar los elementos de entrada y salida para el manejo de información nueva mediante un nodo de lenguaje *Python*. Elaboración propia.

En un código de bloque o *Code Block* por su nombre original dentro del programa, se integran los datos de nombre, conductividad térmica y densidad del material, estos datos pueden ser obtenidos de literatura especializada, nomenclaturas de materiales por parte de proveedores o estudios especializados, en el caso del funcionamiento del nodo para nuevos materiales, la Figura 72 muestra la advertencia en amarillo por estar *Dynamo* en modo manual.

Figura 72

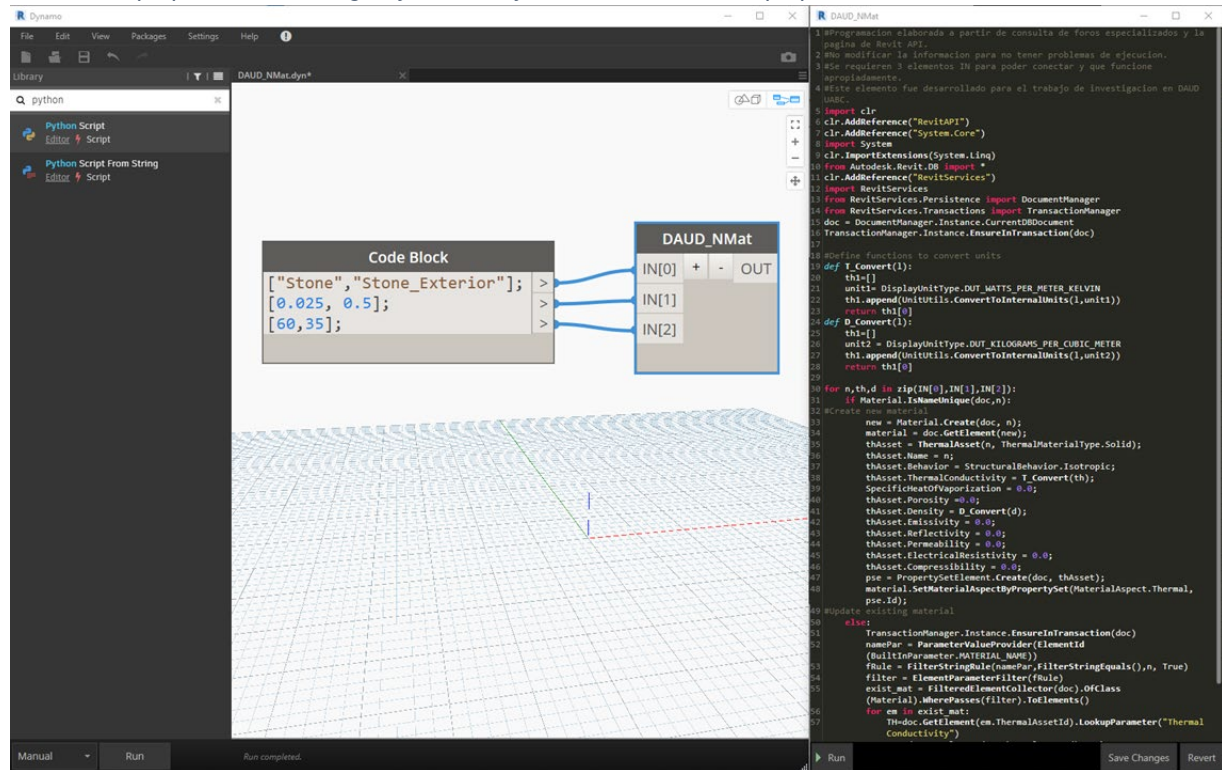
Proceso de preparación de código Python en Dynamo 03. Elaboración propia.



Nota La anterior nos muestra la integración de elementos desde un bloque de código para obtener nuevos materiales dentro de *Revit Architecture*. Elaboración propia.

Una vez ejecutado el nodo se puede observar que este funciona correctamente Figura 73, el nodo se renombró como DAUD_NMat, el código puede ser visualizado dentro del repositorio o en la sección de anexos.

Figura 73
Proceso de preparación de código Python en Dynamo 04. Elaboración propia.

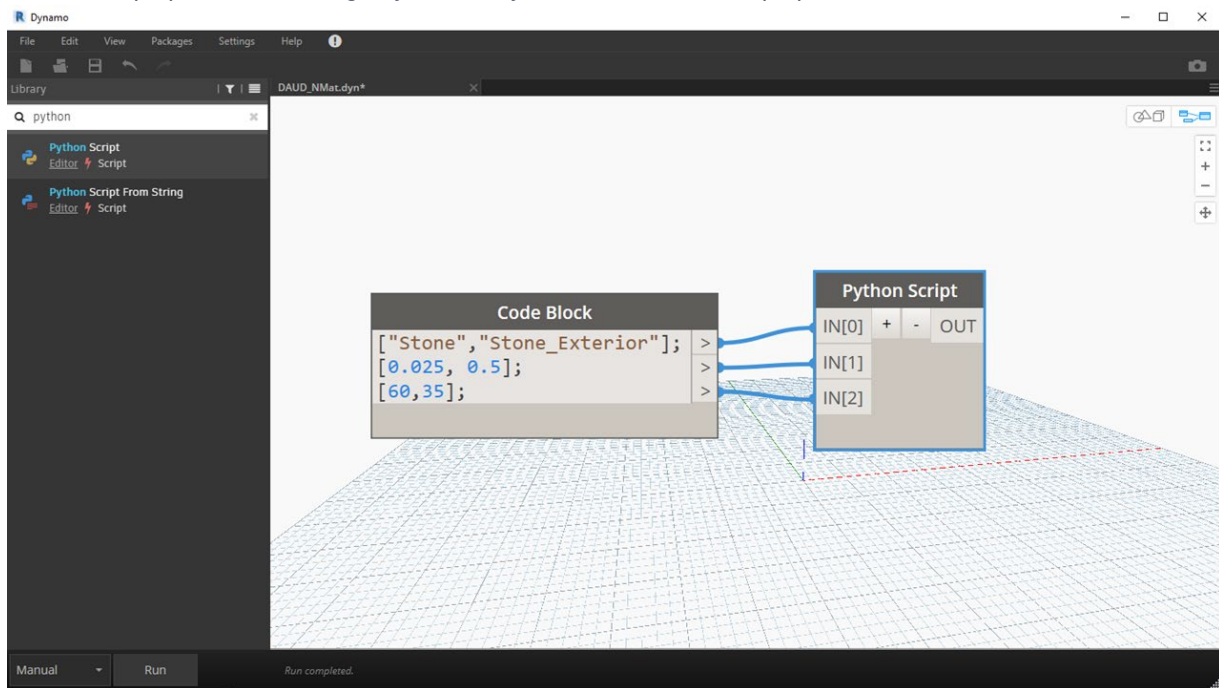


Nota: La figura anterior nos muestra los nodos simplificados y las 52 líneas de código para integrar la información para un nuevo material dentro de *Revit Architecture*. Elaboración propia.

Ya en funcionamiento, el nodo puede escribir los materiales que sean necesarios para ingresar a *Revit Architecture*, este último quedó en *W.I.P. (Work in Progress)* la cual consiste en tener una matriz de materiales en un formato *.xlsx* o *.csv* y estos pueda ingresar en un solo movimiento la cantidad de materiales regionales necesarios, esta última parte será desarrollada con programación en *C#* como elemento adicional en trabajos posteriores Figura 74.

Figura 74

Proceso de preparación de código Python en Dynamo 05. Elaboración propia.

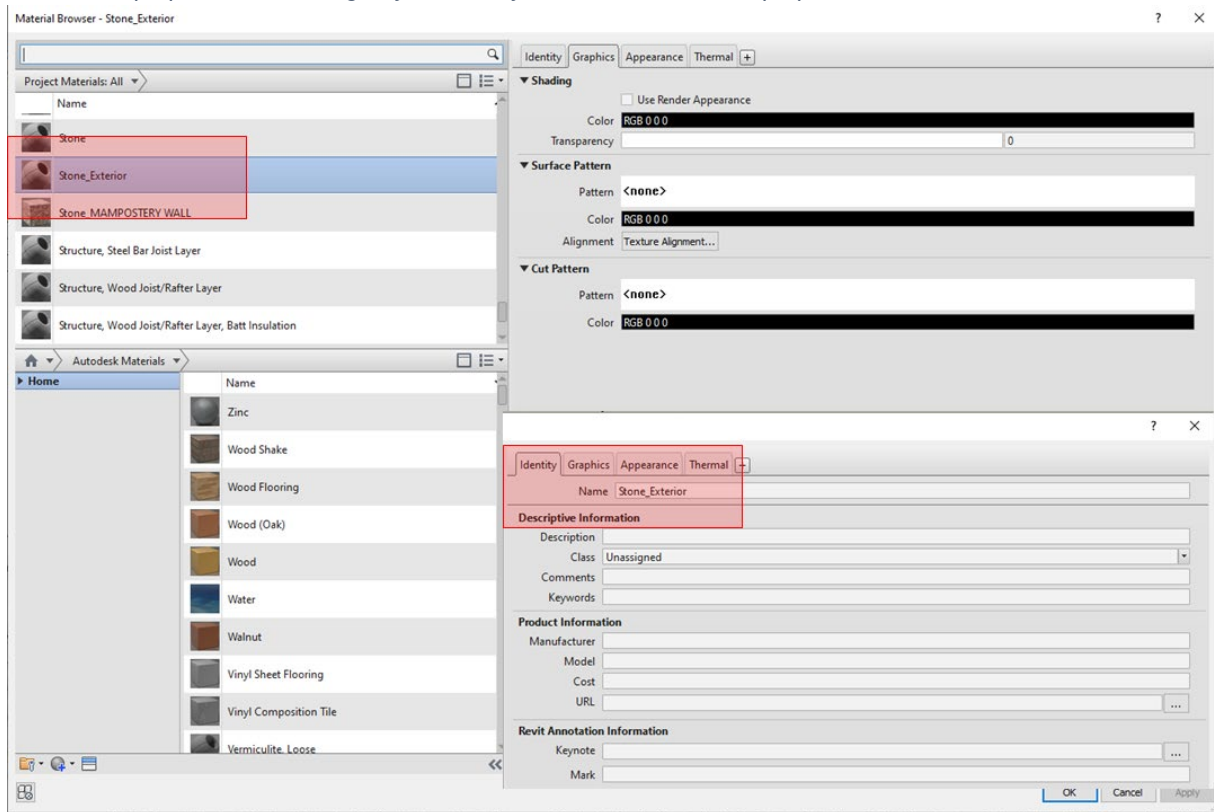


Nota: La figura nos muestra el nodo funcional dentro de Dynamo. Elaboración propia.

La Figura 75 muestra el nuevo elemento anexado dentro del listado de *Revit*, con el nombre asignado desde la casilla de código de bloque, así como los datos adicionales de conductividad térmica y densidad, con estos últimos, el programa hace los cálculos necesarios para obtener el valor (R) de los materiales como se muestra en la Figura 74, y con ello, obtiene datos que brindan mejores resultados al exportar los archivos en formato *.gbXML* para realizar simulaciones en programas especializados.

Figura 75

Proceso de preparación de código Python en Dynamo 06. Elaboración propia.

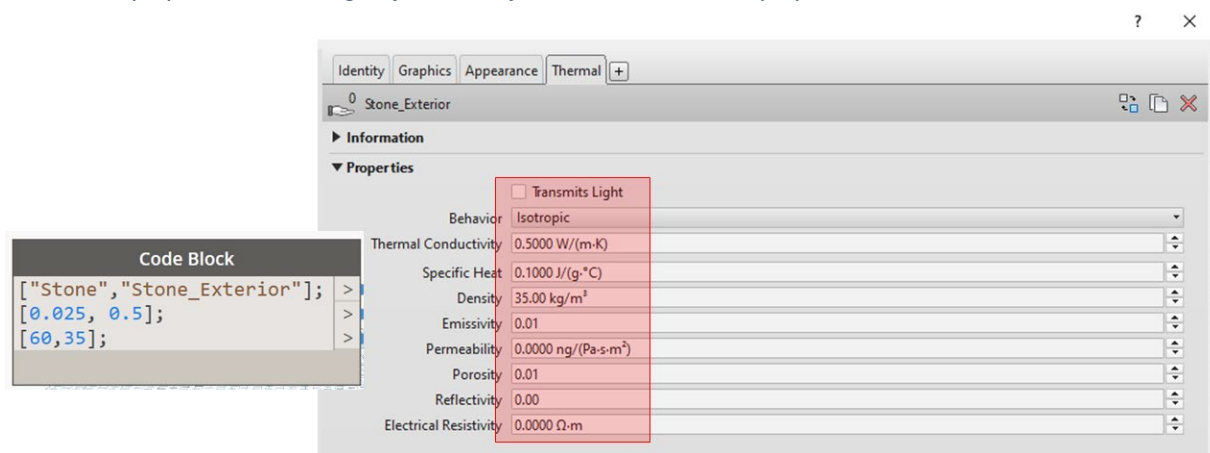


Nota La figura nos muestra la integración de un nuevo material con las características que fueron otorgadas desde Dynamo. Elaboración propia.

La Figura 76 muestra que los elementos cargados desde el código de bloque, contienen los datos señalados dentro de la sección de propiedades térmicas en el programa de *Revit Architecture*, en esa sección quedó pendiente el poder agregar un listado de materiales desde un archivo tipo csv, esto con la finalidad de poder agregar materiales regionales al programa, ya que las características de pueden llegar a variar, ya sea por documentación especializada por parte de proveedores o en dado caso, estudios que estén desarrollados por instituciones educativas y *Revit Architecture* no cuente con éstos dentro de su base de datos por ser de tipo experimental, o producidos de manera artesanal, un ejemplo claro puede ser el tabique o ladrillo de arcilla, el cual varía sus propiedades por su materia prima o bien, por su formato de producción.

Figura 76

Proceso de preparación de código Python en Dynamo 07. Elaboración propia.



Nota: La figura muestra que los elementos dentro del código de bloque fueron integrados de manera exitosa en el ecosistema de Revit y este puede integrar los elementos para cálculos y simulaciones posteriores. Elaboración propia.

Ahora bien, la Figura 77 muestra de manera puntual, las modificaciones en el material, esté inició sin tener una Resistencia en (R) y posterior a los cambios realizados por el algoritmo para modificar material, cuenta con las propiedades en (R) de una piedra para mampostería común, quedando pendiente aquellos elementos relacionados con masa térmica, por ello puede considerarse como *W.I.P.* y tener mejoras constantes, conforme se encuentren un mayor número de código de texto que permita interactuar entre la información interna de *Revit Architecture* y aquella que puede acceder el usuario de manera sencilla y simple.

Figura 77

Proceso de preparación de código Python en Dynamo 08. Elaboración propia.

Edit Assembly

Family:	Basic Wall
Type:	MAMPOSTERY 16"
Total thickness:	0.4064
Resistance (R):	0.0000 (m ² ·K)/W
Thermal Mass:	0.00 kJ/K

Layers			EXTERIOR SIDE
	Function	Material	
1	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000
2	Structure [1]	Stone_MAMPOSTERY WALL	0.4064
3	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000

Edit Assembly

Family:	Basic Wall
Type:	MAMPOSTERY 16"
Total thickness:	0.4064
Resistance (R):	0.8128 (m ² ·K)/W
Thermal Mass:	0.00 kJ/K

Layers			EXTERIOR SIDE
	Function	Material	
1	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000
2	Structure [1]	Stone_Exterior	0.4064
3	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000

Nota: La figura muestra el cambio en las características del material utilizado como muro de mampostería, la imagen muestra los cambios en la Resistencia en (R). Elaboración Propia.

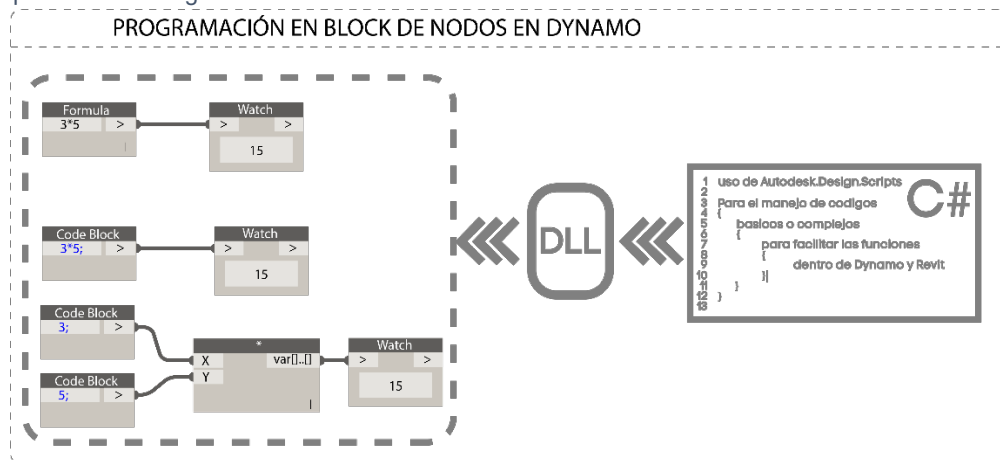
Por último, queda pendiente la incorporación de texturas personalizadas de manera semi automatizadas, estas pueden ser producidas desde *PyRevit* o bien, utilizar aquellas procedentes de un programa tipo *CAD* con terminación *.pat*, en esta sección solo se deberá modificar si la textura es para modelo o dibujo, ya que esto podría mejorar o entorpecer los procesos de diseño, para ello, se recomienda editar el archivo *.pat* desde un editor de código o bien, un editor de texto sencillo, invitando a no utilizar los de tipo *Word*, *Pages* o *Google Doc*.

4.2. PROGRAMACIÓN EN BLOCK DE NODOS EN DYNAMO

La programación por bloques de nodos dentro de Dynamo, es el proceso más utilizado y común dentro del entorno del programa, aquí se pueden aprovechar los nodos *out of the box* con los que trae el visualizador por default y poder realizar acciones que permitan facilitar los trabajos de diseño o en su defecto, utilizar aquellos que contengan información personalizada desarrollada por terceros en código *Python* y/o *C#*, la Figura 78 muestra ejemplos sencillos de programación por código con elementos de multiplicación y su nodo de *watch* para observar los resultados.

Para esta investigación se emplearon distintos *Scripts* utilizando una mezcla en *Python* y *Code Block* para automatizar el desarrollo de sombras, utilizando la información de georreferencia que se otorga dentro de las características internas del proyecto, estas forman parte de la ubicación en longitud y latitud, esta posteriormente se traduce en un posicionamiento que permite identificar el *Azimut* dentro del programa, posteriormente el código *Python* traduce y recopila los datos internos de *Revit Architecture*, el cual traslada los datos a una nueva vista generada a partir de otra que puede contener solamente la información exterior o en dado caso, realizar una vista con corte, la cual permita visualizar de manera general cómo interactúa la iluminación de manera apegada a la realidad dentro de un espacio.

Figura 78
Ejemplo simplificado de código en block



Nota: La figura muestra un ejemplo simplificado de programación por código en block y su parecido en lenguaje C#.

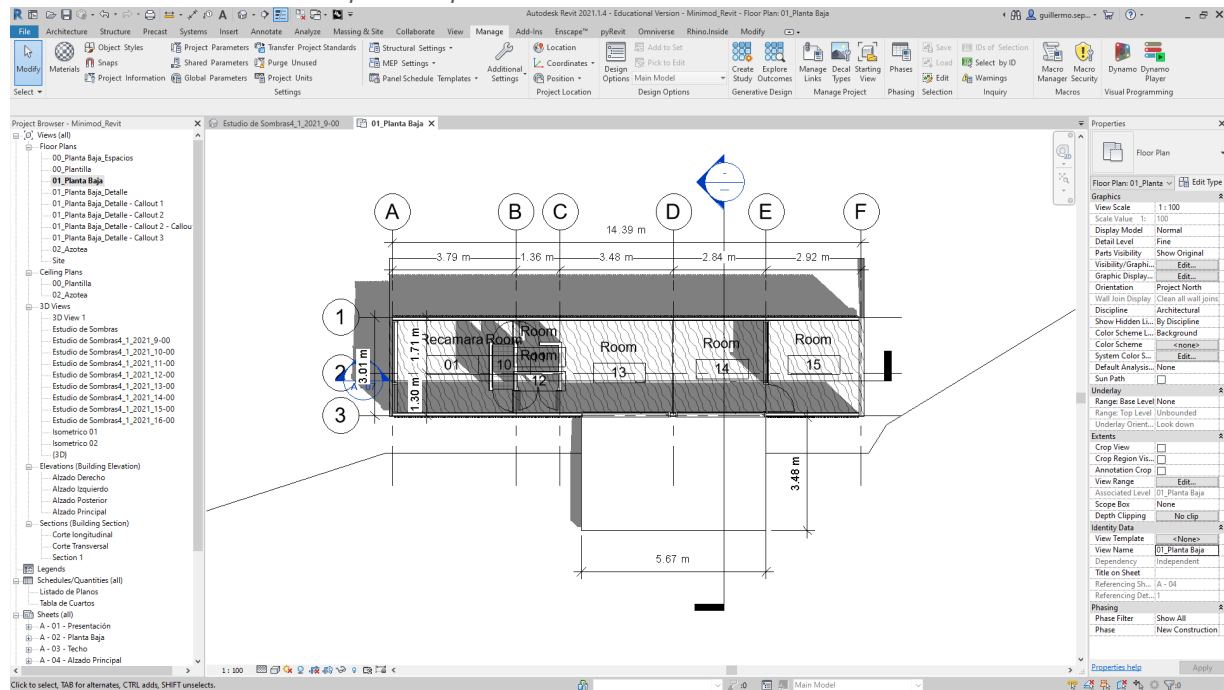
4.3. DYNAMO PLAYER SCRIPT PARA ANÁLISIS DE SOMBRA MES, DIA, HORA

En los elementos internos para el análisis de sombras que contiene *Revit Architecture* aplicable al análisis lumínico, la Figura 79, se muestra el formato estándar de visualización de sombras dentro de una planta arquitectónica en el programa de *Revit Architecture*, la cual contiene toda la información de proyecto, salvo que se apliquen filtros o máscaras de visualización, para activar y visualizar la información de sombras, se encuentra un módulo para simulación de iluminación natural, el cual brinda información por mes, día y hora, no obstante, para poder desarrollar una simulación que brinde información de manera sencilla a un usuario no especializado, presenta varios retos, dentro de estos podemos encontrar los siguientes:

- El programa corta por default los muros exteriores e interiores, así como diversos objetos dentro del espacio a 1.20 m de altura, esta acción permite visualizar la luz del sol sin tomar en cuenta el resto de los muros y losas o techos.
- Aparecen todos aquellos elementos de simbología que no son necesarios para el desarrollo del análisis, a su vez, estos pueden llegar a confundir al usuario.
- El usuario debe conocer el proceso para configurar el formato de salida, ya que existen varias opciones, y no todas se ajustan a las necesidades para el análisis de sombras de un inmueble.
- El usuario debe comprender el uso e implementación de los tipos de compresión de video, cuadros por segundo aplicables al periodo a simular, zoom dentro de la visualización y medida del recuadro.
- El video puede llegar a pesar varios megas y no cumplir con el objetivo principal si este no está bien configurado.
- Un análisis sencillo puede llegar a ser pesado para procesar y visualizar, ejemplo, un video menor a un minuto, puede llegar a pesar 580 Mb, para poder ser compartido en internet o vía correo electrónico, puede ser un problema constante.

Figura 79

Formato común de sombras en planta arquitectónica.

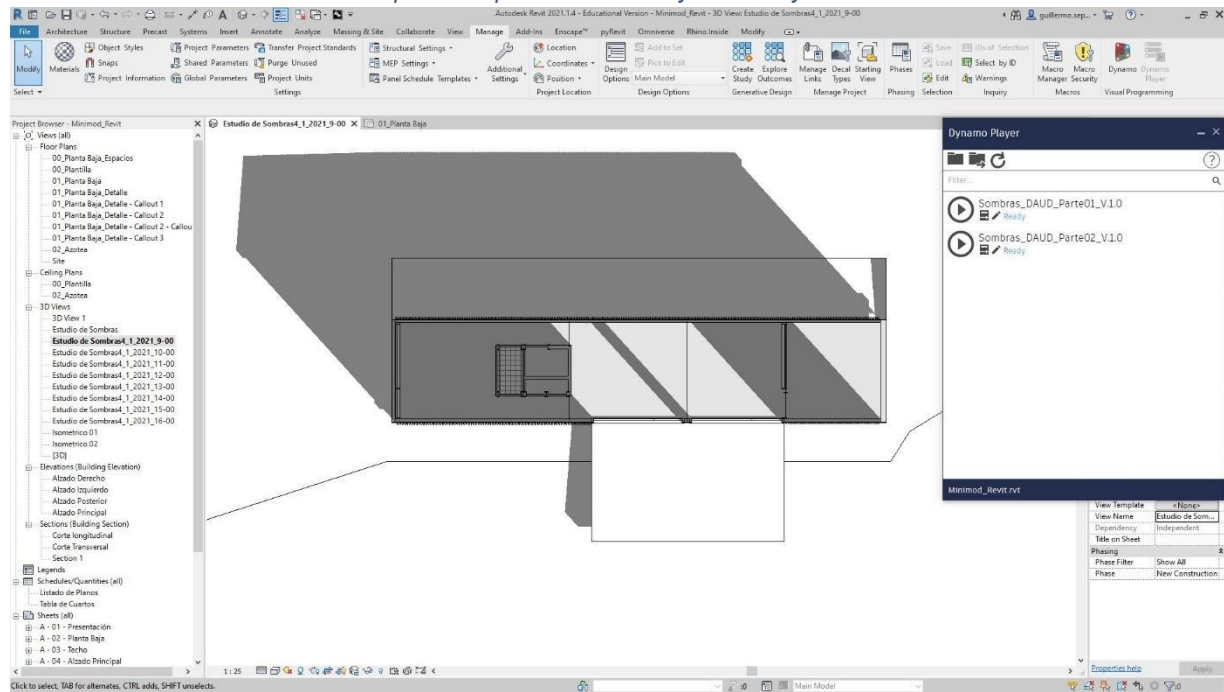


Nota: La figura anterior muestra el formato de visualización de planta arquitectónica con sombras y simbología general. Elaboración propia.

En la Figura 80, encontramos un contraste en el formato de presentación de sombras, la propuesta de los elementos desarrollados facilita la visualización de sombras e iluminación para realizar un estudio personalizado, este fue desarrollado mediante un *script* individualizado aplicable en *Dynamo Player* en dos fases, el cual genera imágenes estáticas seleccionando un periodo específico por mes, día y hora, con el cual, el usuario tiene mayor control sobre los periodos requeridos, para ser procesados posteriormente, un editor de imágenes que pueda generar una imagen .gif.

Figura 80

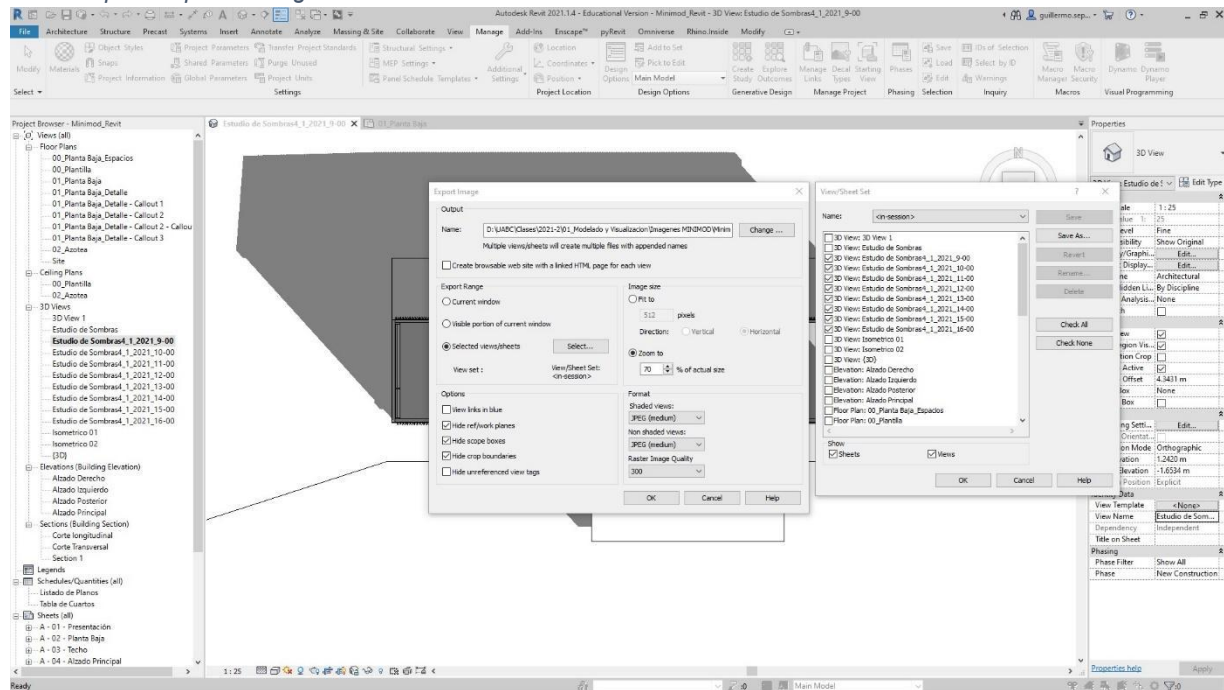
Formato modificado de sombras en planta arquitectónica vía Dynamo Player.



Nota: La figura anterior muestra el formato modificado de visualización de sombras utilizando nodos personalizados en Dynamo. Elaboración propia.

Dentro de las ventajas que presenta la implementación de estos elementos, encontramos su aplicación en vistas personalizadas, la Figura 81 muestra el proceso para exportar las imágenes y estas se pueden presentar en una calidad de 72 dpi hasta los 600 dpi de salida de *Revit Architecture*, formato *jpg*, *png* o *tiff*, cabe resaltar que el tamaño es proporcional en relación a peso de la imagen, lo que nos permite controlar el tamaño de archivo, con la oportunidad de exportar una o varias vistas a la vez, el nodo personalizado puede ayudar a modificar la visualización de la sombra proyectada, con la variabilidad de tenue a intensa, al poder utilizar las imágenes resultantes de esta modificación en presentaciones o documentos de todo uso.

Figura 81
Proceso para exportar imagen.

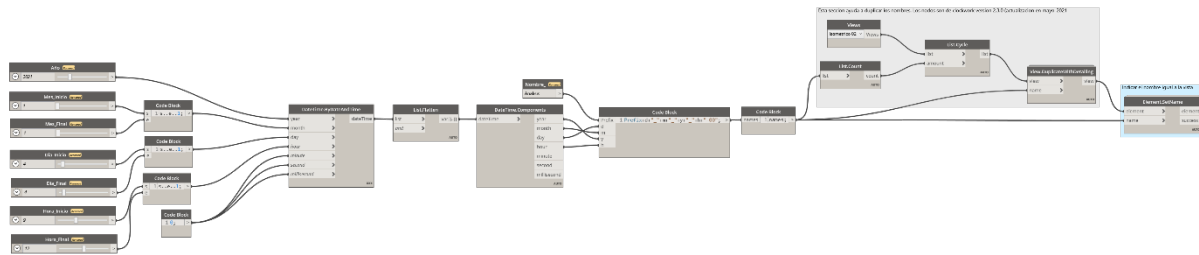


Nota: La figura muestra el proceso básico para la exportación de imágenes para generar archivos exteriores. Elaboración propia.

La programación interna del nodo se compone en dos etapas principales, dentro de la primer fase, se relaciona los datos internos de *Revit Architecture* para realizar las modificaciones referentes a fecha y hora mediante el nodo *DateTime.ByDateAndTime* realizando un *List.Flatten* (o concentrado de datos en un solo listado), y procesando los mismos dentro de un nodo que desglosa los componentes de *DateTime.Components* utilizando un código de bloque para realizar una separación por componente de día, mes, año y hora, los cuales pueda ser modificados de manera automatizada por el usuario tal como se muestra en la Figura 82.

Figura 82

Desarrollo de script para exportación de datos para elaboración de sombras. Elaboración propia.

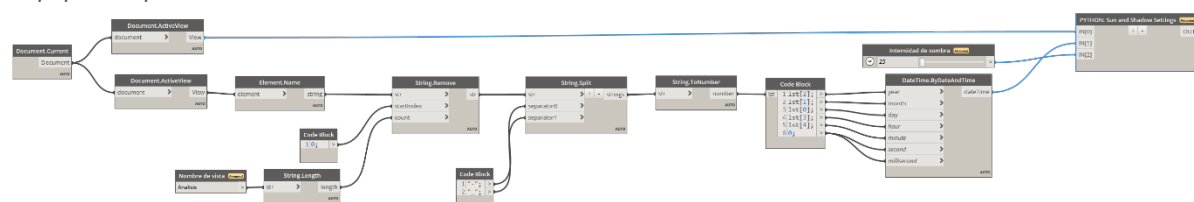


Nota: La figura anterior muestra el Desarrollo de *script* para exportación de datos para elaboración de sombras. Elaboración propia.

La segunda fase comprende en la ejecución de los datos de mes-día-hora mediante un *script* que modifica el documento o vista que se encuentre abierto, para ello, se deberá seleccionar de manera manual los elementos elaborados con el *script* anterior, la parte principal de este *script*, es un nodo *Python* que permite que se realicen los cambios antes mencionados, el *script* general para la segunda parte de la ejecución para obtener las sobras, la Figura 83 muestra el código *Python*, el código se encuentra en el repositorio y anexos.

Figura 83

Script para exportación de datos de sombras. Parte 02

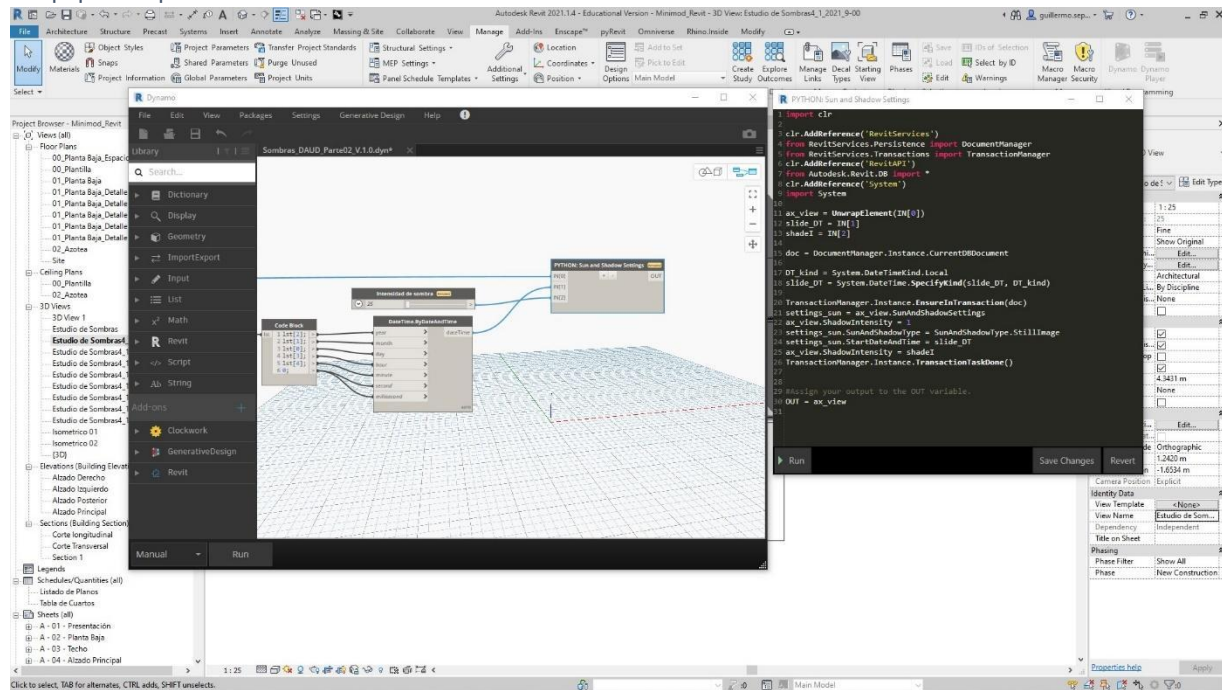


Nota: La figura anterior muestra el Desarrollo de *script* para exportación de datos para elaboración de sombras. Elaboración propia.

Es así como en la segunda, la exportación de datos se realiza principalmente por medio de un nodo específico, el cual fue personalizado utilizando lenguaje *Python* como lo muestra la Figura 84 Este busca de manera directa la interacción del programa utilizando los comandos de rastreo de la posición solar y la proyección de sombras, el nodo puede llegar a necesitar

modificaciones menores, no obstante, no requiere de archivos adicionales para su correcto funcionamiento, el código se encuentra en el repositorio y anexos.

Figura 84
Script para exportación de datos de sombras. Parte 03

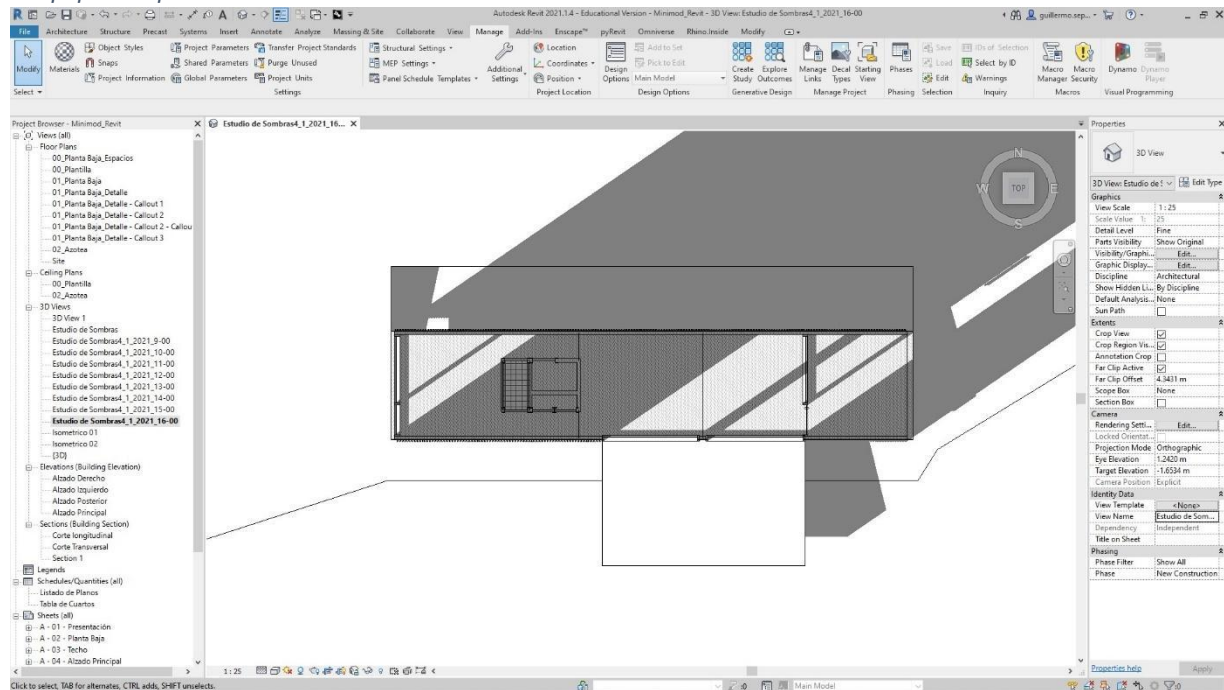


Nota: La figura anterior muestra el Desarrollo de *script* para exportación de datos para elaboración de sombras utilizando lenguaje *Python*. Elaboración propia.

El resultado de esta aplicación puede apreciarse en la Figura 85, la cual muestra como resultado que el usuario no necesita realizar modificaciones dentro del entorno de programación visual de *Dynamo*, ya que los procesos de ejecución ocurren en *Dynamo Player*, también permite un manejo eficaz de tiempo y con ello, visualizar las sombras de manera natural dentro de los espacios, quedando como parte *W.I.P.*, convertir esta información a una aplicación sencilla y esta misma ser ejecutada en cortes de un inmueble para apreciar en una visualización distinta el análisis de sombra.

Figura 85

Script para exportación de datos de sombras. Parte 04



Nota: La figura anterior muestra Visualización de sombras como resultado del *script* dinámico de *Dynamo Player* sombras utilizando lenguaje *Python*. Elaboración propia.

Como producto final de la aplicación de scripts dentro de *Dynamo Player*, podemos obtener una serie de imágenes, las pueden ser utilizadas en la generación de archivos tipo .gif, el cual proyecta una serie de beneficios en comparativa de los archivos tipo .avi que produce *Revit Architecture* al realizar análisis lumínicos basados en sombras. Y convertir al proceso en un formato sencillo para aquellos usuarios no especializados en comparativa de las técnicas que son empleadas comúnmente utilizando el programa.

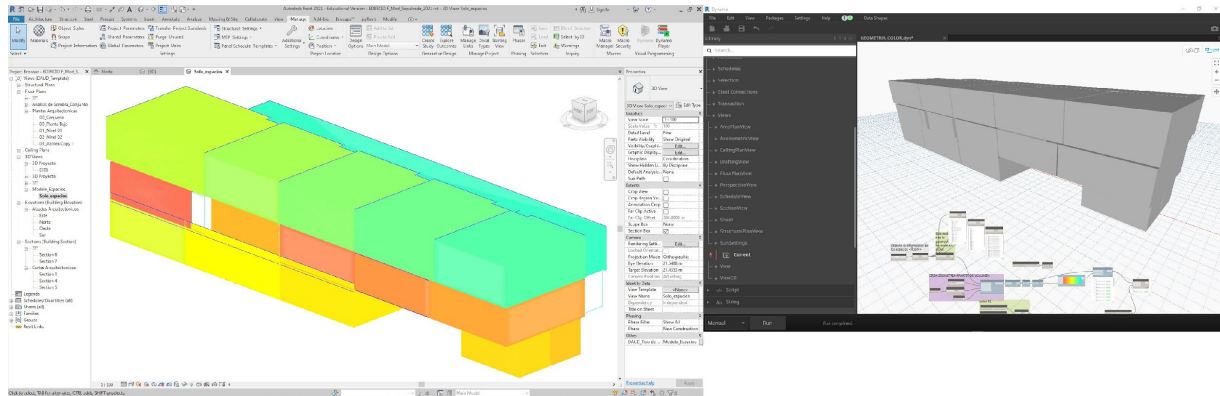
4.4. SENSOR VIRTUAL – ILUMINACIÓN ESPACIAL W.I.P.

Originalmente, al inicio de esta investigación, se pretendía elaborar una serie de familias y funciones que permitieran una simulación integral en el entorno de *Revit Architecture*, dentro de estos elementos se encontraba el desarrollo de una familia parametrizada que realizará la función de un sensor o *Hobbo* para utilizar e implementar la información que se asocia por georreferencia con alguna estación meteorológica asociada con la *WMO*, estas familias se integrarían de manera directa y sin el uso de una aplicación adicional o plataforma externa. Este tiene como función principal la lectura de las unidades Lux o Candela en aquellos espacios que fueran requeridos y contabilizar las horas sol o de iluminación natural dentro de dicho espacio, obtener un aproximado del *sDA* (*spatial Daylight Autonomy*) principalmente apegado a la NOM-025-STPS-2008, con ello, proporcionar distintos estudios de iluminación interna dentro de las etapas tempranas del modelo o en aquellas que estuvieran ya avanzadas en su *LOD* interior o intervenidas por múltiples disciplinas.

Sin embargo, debido a las actualizaciones constantes dentro de *Autodesk* (Autodesk, 2021b), afectando principalmente a usuarios académicos relacionados con licenciamiento (Autodesk, 2020), su plataforma de nube o aquellos elementos programación interna y ejecución de programas (Williams, 2018), tuvo como consecuencia que los nodos utilizados para el desarrollo del proceso para realizar la metodología de lectura de iluminación con familias parametrizadas terminaran truncados. No obstante, sirvió como estructura fundamental para los procesos en los que terminaría esta investigación, ya que sembró el procedimiento a desarrollar en *Grasshopper* para obtener la retícula adaptativa a la NOM-025-STPS-2008.

A continuación, se anexan los pasos y el proceso que se tenía como avance hasta el momento que dejó de funcionar el *script* de división para U y V en superficies, la Figura 86, muestra la recuperación de las volumetrías en los distintos niveles y espacios dentro del modelo arquitectónico, el *script* permite recuperar las volumetrías y colocar un sistema de colores para poder identificar de manera sencilla los distintos espacios. Esto abre el proceso de interoperabilidad con otros elementos, programas e información si se quisiera elaborar las simulaciones bajo el método de *simple box model*.

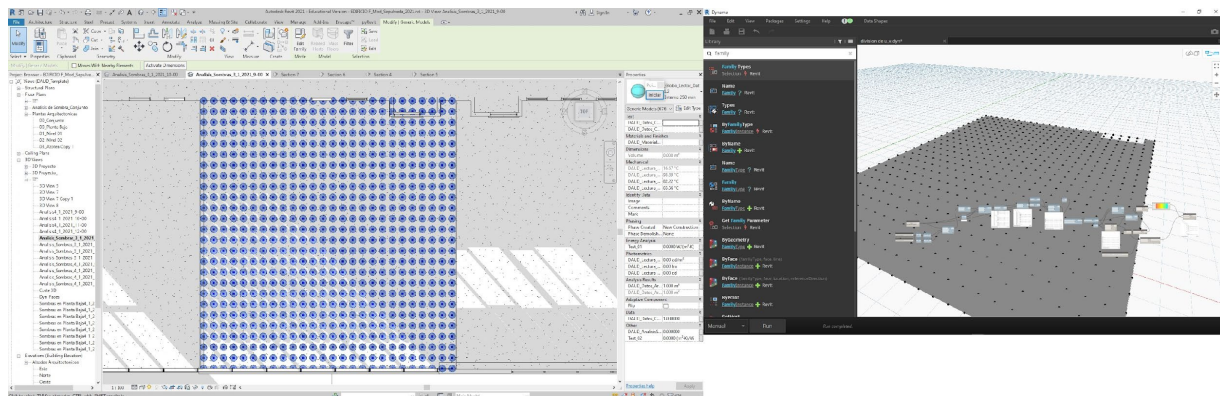
Figura 86
Volumetría automatizada mediante Dynamo.



Nota: La figura anterior muestra el modelo arquitectónico elaborado a partir de volumetrías automatizadas mediante Dynamo. Elaboración propia.

Uno de los primeros pasos para el desarrollo de una simulación utilizando el modelo tridimensional con *LOD 350*, consiste en identificar el espacio o volumen para realizar la simulación, esta podrá obtener uno o más espacios, todo depende de la capacidad del equipo de cómputo con el que se realizarán los trabajos, una vez identificado el área de trabajo a simular, se procede a elegir la superficie inferior de la volumetría, la primera sección del *script* permite identificar mediante un slider numérico el espacio, posteriormente, se procede a seleccionar la superficie interior de cada espacio, el ejemplo de la Figura 87 muestra la selección de la superficie inferior a base del nodo *Room.Boundaries*.

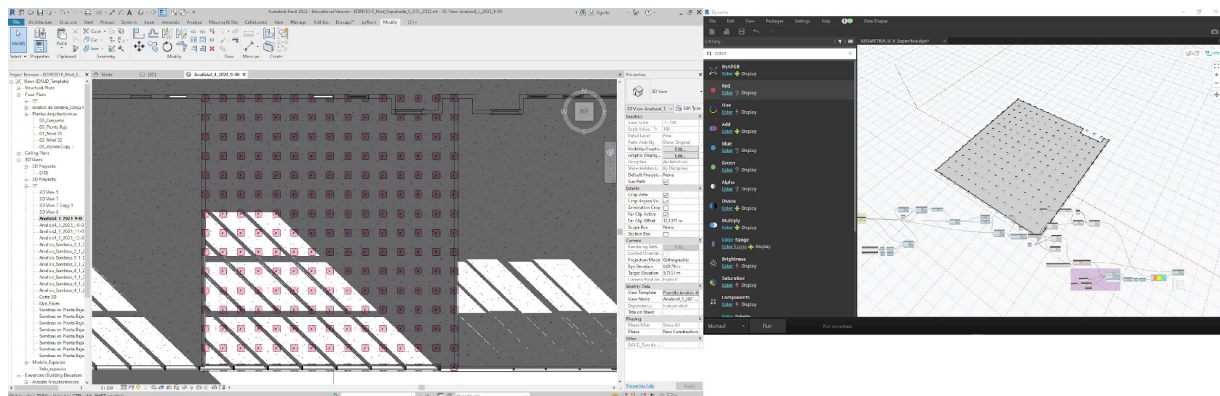
Figura 87
Retícula de trabajo interno dentro del espacio de trabajo.



Nota: La figura muestra la primera retícula de trabajo interno dentro del espacio del área de estudio. Elaboración propia.

Dentro de la selección de *Room.Boundaries*, como se puede observar en la Figura 88 se procedió a modificar el listado de líneas obtenidas para fabricar una superficie, la cual, contiene una subdivisión en formato *U* y *V*, formando una retícula de trabajo para hospedar las familias de lectura de iluminación, a su vez se aplicó un *offset* (desfase) de hasta 60 cm con la finalidad considerar las superficies de trabajo de aulas escolares, tales como escritorios o mesas de trabajo, el slider de offset puede colocar los sensores de 0 cm a la altura que sea requerida, siempre y cuando cumpla con lo establecido en la NOM-025-STPS-2008, para facilitar las primeras pruebas, se procedió a una división interna del espacio mediante una retícula, la cual terminó en 10 por 10, esto con la finalidad de tener 100 elementos y trasladar esta información de manera directa realizando una selección de elementos y exportar los resultados a Excel, posterior a ello, se incorporó un punto constructivo para poder tener control en x, y, a su vez anexar al sensor virtual en este último elemento que puede ir de piso a techo con el control del slider de altura, incorporado en la sección z del nodo de trabajo.

Figura 88
Verificación de puntos en retícula manual.

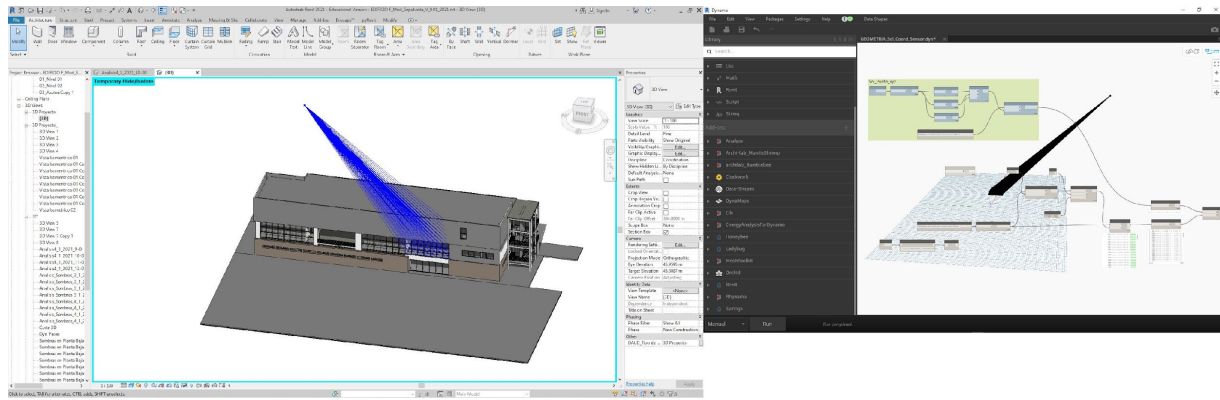


Nota La figura anterior muestra la visualización de los primeros puntos de trabajo en Revit a la izquierda y Dynamo a la derecha, Elaboración propia.

Identificados los puntos de trabajo de cada sección de la retícula, se procede a cargar la familia de sensor, la cual trabaja bajo dos premisas, y ser estas la de emisor – receptor, el emisor se convierte en punto A, este se ubica en el punto donde el programa indica la posición del sol, para ello se utilizan las coordenadas internas dentro de *Revit Architecture*, las cuales son

recuperadas por medio de los nodos de ubicación y georreferencia, por otro lado, los receptores son ubicados sobre una superficie, principalmente en piso o fachada convirtiéndose en punto B, esta familia está programada y cuentan con filtros de color con la finalidad de cambiar de tono si los vectores provenientes del punto A o emisor, a un punto B como se puede observar en la Figura 89, en caso de que el vector pierda continuidad por contacto con una losa, muro o techo, el sensor estaría apagado.

Figura 89
Visualización de vectores de simulación.



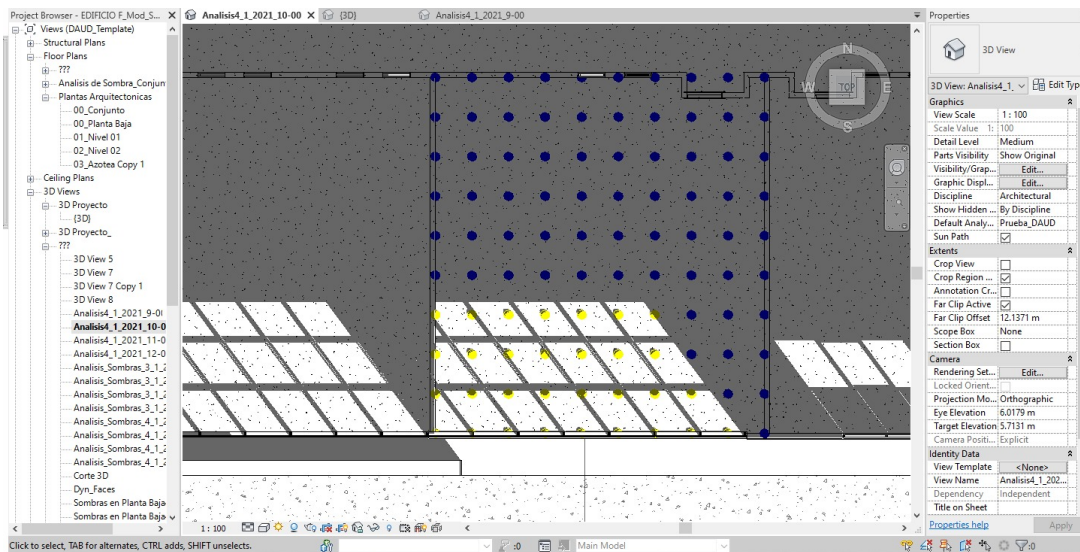
Nota La figura anterior muestra visualización de vector que simula la proyección solar buscando los puntos dentro de la retícula desarrollada para lectura de iluminación en espacios dentro de *Revit Architecture*, Elaboración propia.

Dentro de la programación del *script*, es importante corroborar los datos que puede llegar a proporcionar el punto A, ya que en algunas ocasiones puede llegar a diferir un par de grados, por ello es importante tener los datos exactos dentro del programa como ubicación geográfica, altura sobre nivel del mar, e indicación de norte verdadero del proyecto respecto al norte del proyecto, ya que no realizar estas modificaciones puede llegar a alterar los resultados deseados sobre aquellos obtenidos. *Dynamo* cuenta con un nodo de localización, el cual nos puede proporcionar, la altura y ángulo del punto A por mes, día, hora, esto con la finalidad de poder cotejar datos de manera manual.

Así pues, si la familia de sensor está bien ubicada y cuenta con los parámetros y filtros correspondientes compartidos de manera correcta, este deberá de reaccionar según la proyección de luz referente a mes, día, hora, al encender en color amarillo cuando es tocada por la luz, y en color azul cuando está en espacio de sombra, el ejemplo de la Figura 90 muestra una

serie de sensores virtuales dentro del aula de estudio, en la imagen se puede observar cómo los sensores están encendidos dentro del primer tercio del área del aula, conforme se desplaza la posición del sol, los vectores se actualizan, a su vez, se puede identificar como es el comportamiento real de la iluminación dentro del espacio, ya que dentro del formato realizado, el corte del muro no se realiza a los 4 pies de altura y se conserva la continuidad del muro, dando así el formato de vector continuo en área de ventanas y vector con obstáculo en muros, pisos y techos, o losas de entrepiso.

Figura 90
Visualización de familia de simulación.



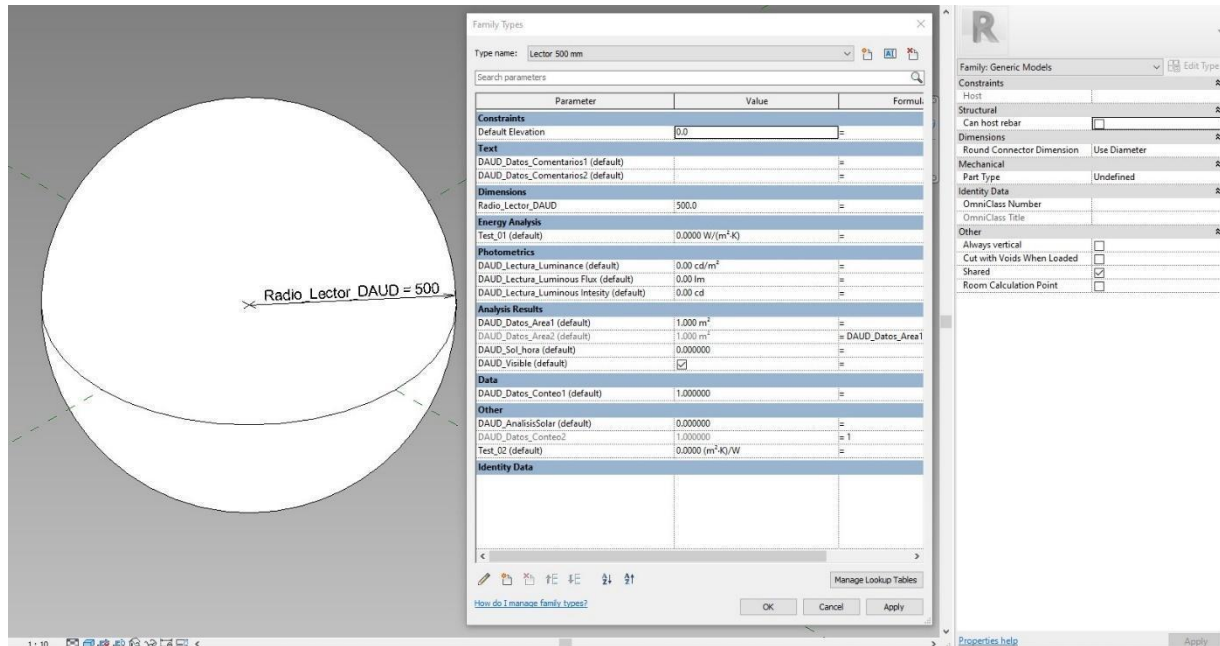
Nota La figura muestra la visualización de familia desarrollada para los procesos de simulación, los puntos azules no reciben luz solar, los puntos amarillos reciben luz solar, Elaboración propia.

Por último, cabe señalar que el trabajo desarrollado quedo en *W.I.P.*, el nodo de división U y V dejo de funcionar a las actualizaciones de *Dynamo* 2.0.3 y 2.3.0, y ser esto entre los meses de junio y agosto de 2019, a partir de las actualizaciones de 2.5.0 en Enero de 2020, las paqueterías relacionadas con lenguaje *.xlm* dejaron de funcionar correctamente, por su cambio a lenguaje informático tipo *.json* (Williams, 2018), en la Figura 91 podemos observar el sensor virtual que se estaría utilizando para obtener información dentro de esta investigación, dentro de este, se tenían señalados información variada, esta varia desde señalar el nombre de la superficie donde estaba hospedada, lectura de candelas o lux sobre el sensor, quedando pendientes

aquellos elementos relacionados con temperatura y radiación solar.

Figura 91

Familia desarrollada para revisión de puntos de luz dentro de un espacio.



Nota La Figura anterior muestra una familia para simular un sensor que permitiera la lectura de iluminación al interior de un espacio, este tendría las propiedades de leer la iluminación y temperatura desde una base de datos climáticos, Elaboración propia.

No obstante, el algoritmo desarrollado hasta este punto, dejó las bases para la modificación a esta investigación, y ser esta una trayectoria a seguir dentro de *Grasshopper* mediante la aplicación de *Rhino.Inside* y de esta manera obtener los beneficios de los programas vectoriales con información *BIM*, y promover la interoperabilidad y apegándose a los estándares de modelado. Por último, los procesos desarrollados pueden ser emulados al momento de encontrar una aplicación similar que pueda realizar la división de una superficie en U y V, no se descartan los elementos desarrollados, y estos quedan en proceso W.I.P. cómo se mencionó en el párrafo anterior, para poder obtener un valor similar de división superficial donde anidar los sensores, se deberá realizar una búsqueda entre los códigos existentes y vigentes para la versión que quiera ser utilizada, el nodo será hospedado dentro de las carpetas que son señaladas dentro de la sección de apéndice.

4.5. INTEROPERABILIDAD BASADA EN EXPORTACIÓN DE ARCHIVOS

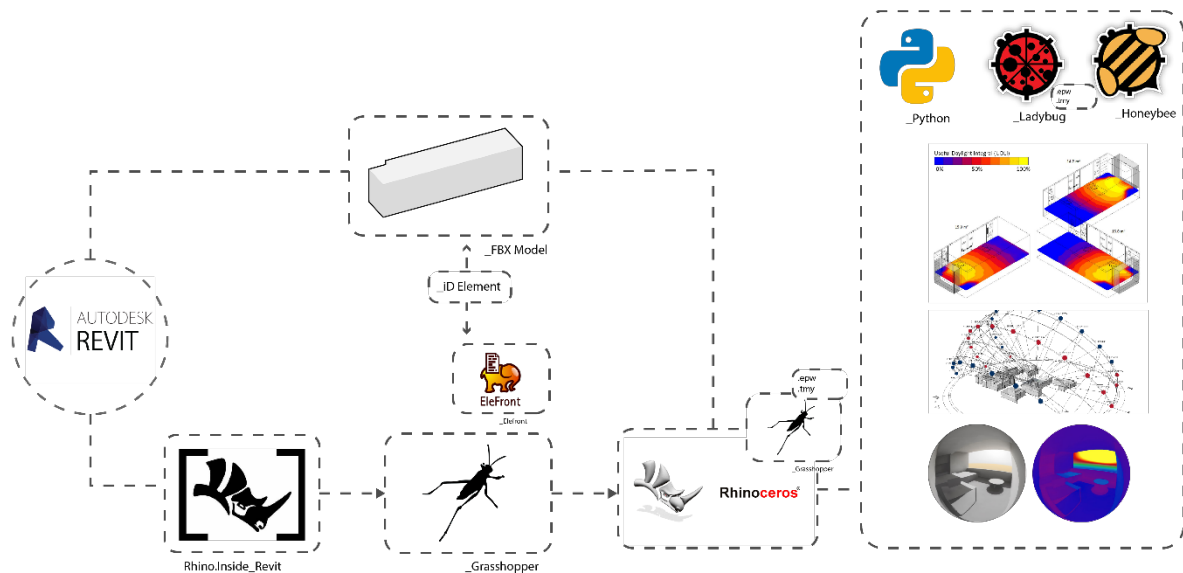
El proceso para lograr la interoperabilidad mediante distintos programas puede presentar sus propios retos, un formato sencillo como el adjuntar una presentación a *Google Drive*, y abrir esta misma en *Google-Presentation*, puede mostrar mensajes de error en la apertura, configuración o descarga de dicho archivo. En la actualidad se cuentan con pocos recursos accesibles al público en general, dentro de estos procesos, se encuentran aquellos hospedados en plataformas especializadas con servicios en la nube o *Cloud Services*, los cuales operan bajo el formato de *Open BIM* o *Cloud Open BIM* (Juan y Zheng, 2014),

Otro formato implementado, es creando el uso de la exportación de puntos, los cuales son interpretados como coordenadas por el programa receptor o exportador de dichos elementos, estos son guardados bajo coordenadas x, y, z, posteriormente suelen identificarse sobre las coordenadas U y V de las distintas superficies donde serán hospedadas, ya sea en un mallado sobre superficie conocido también como *Mesh* o tipo *NURBS*, identificadas estas últimas sobre los formatos utilizados dentro de *Rhinoceros 3D*, que deberán ser reincorporadas a *Revit Architecture* bajo la premisa de la implementación de familias especializadas con programación de parámetros específicos, los cuales funcionan para procesos pequeños, no obstante, para procesos especializados o aquellos referentes con simulaciones especializadas, deberán implementarse exportaciones con archivos tipo *gbXML* para *Designbuilder* o para *Autodesk Insight*, por ello la importancia de mantener los formatos bajo los mismos criterios de información.

Con la finalidad de elaborar un proceso de interoperabilidad completo, se realizaron distintas pruebas de exportación de un modelo o archivo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*, las pruebas buscaron un procedimiento basado en pasos replicables, los cuales se explican a continuación con la finalidad de facilitar la vinculación de elementos, familias, objetos o modelos completos que contengan la información original de los elementos en el modelo *BIM*, procesarlos dentro del modelo vectorial dentro de *Rhinoceros 3D* como se puede apreciar en la Figura 92 y finalmente, al incorporar las modificaciones a *Revit Architecture* con la mínima pérdida de información como si se tratara de un modelo tipo *IFC*.

Los modelos IFC se basan principalmente en los modelos de Open BIM, los cuales proporcionan información para la mayoría de los programas que utilicen modelos tridimensionales con la interpolación de datos físicos en los elementos constructivos que son utilizados e implementados. Por lo general, este procedimiento es implementado para migrar información entre programas, y por lo general, se utilizan plataformas con servicio de nube o *Cloud Service* para lograr el proceso IA (International Alliance for Interoperability por sus siglas en inglés) (LNB, 2018).

Figura 92
Proceso de interoperabilidad deseable entre Revit y Rhino 3D.



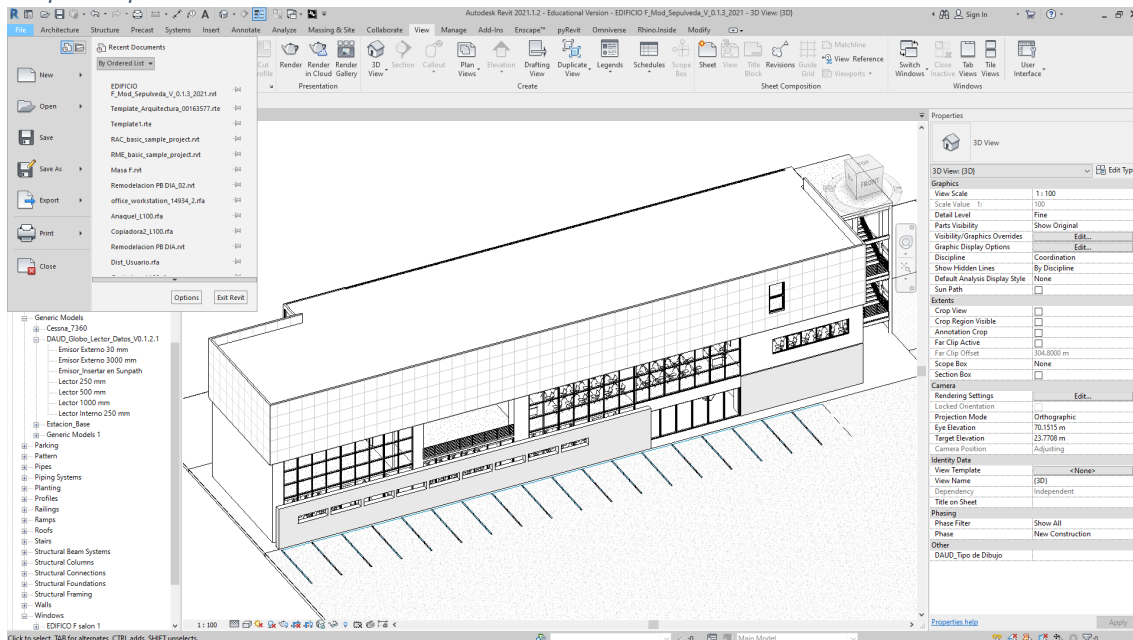
Nota: El proceso de interoperabilidad entre Revit y Rhino 3D para esta investigación se utilizó *Rhino.Inside* para afinar los procesos de interacción de archivos y características internas de los mismos.

El proceso que se aprecia en la figura anterior, empieza a ser implementado con distintas variantes o aplicaciones, entre estas se encuentran *Hummingbird*, *GRevit* y la interacción con modelos tipos *AS/S-SAT*, lo importante para la simulación es una volumetría de contorno, no obstante, el incorporar elementos geométricos que pertenecen al modelo original, facilitan la interpretación de datos. Mediante los resultados que se obtienen, se mejoran los sistemas de protección pasivos, activos y de resiliencia.

4.5.1. CONFIGURACIÓN DE MODELO EN REVIT PARA EXPORTAR A RHINOCEROS 3D VÍA SAT.

Dentro de los primeros métodos realizados para realizar un procedimiento oportuno de interoperabilidad de archivos y datos, la primer exploración fue por medio del formato vía SAT, dentro del procedimiento a seguir, es requerido tener un conocimiento básico de *Revit Architecture*, la Figura 93 muestra el primer paso del proceso es colocar una visualización del modelo en una vista 3D, preferente tipo isométrica o con el *viewcube*, señalar una de sus esquinas, posterior a ello, sería indicar en el *Ribbon*, en la pestaña de archivo o *file*, Exportar, a la vez muestra el proceso inicial para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*.

Figura 93
Paso 01 para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*.



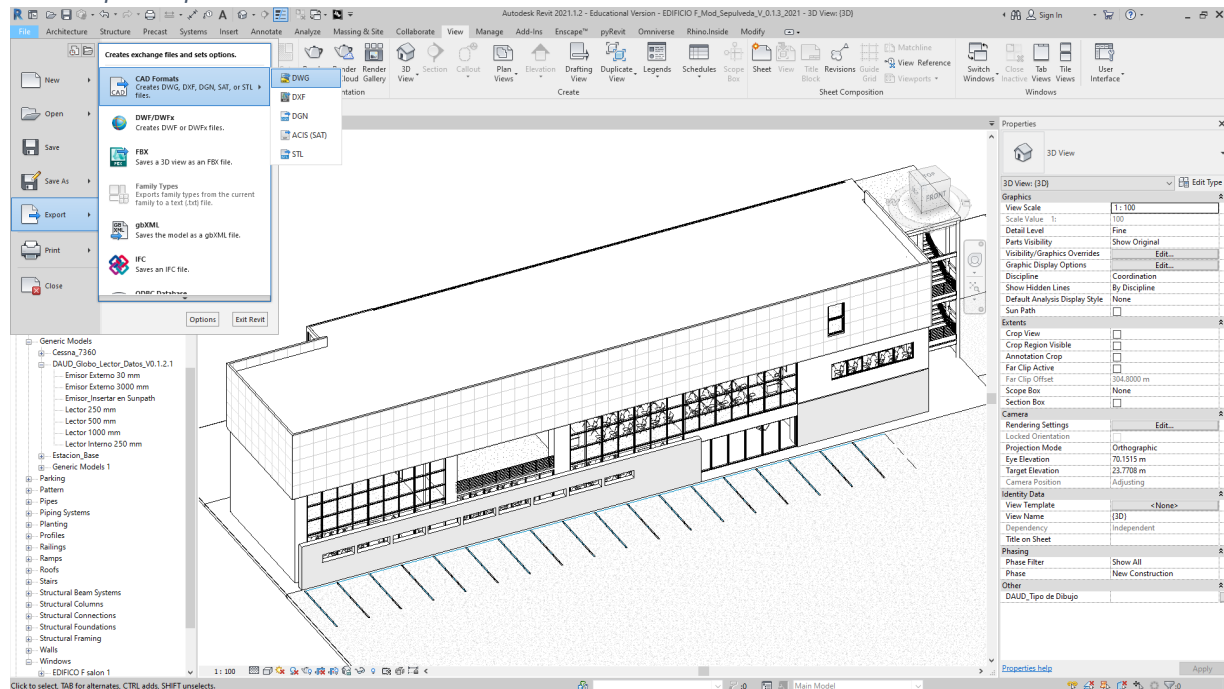
Nota Proceso inicial para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*. Elaboración propia.

Una vez seleccionado exportar, indicar tipo ACIS-SAT La Figura 94, muestra el segundo paso del proceso inicial para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*, al momento de seleccionarlo, el programa podrá identificar los elementos como un conjunto de

sólidos, los cuales se vinculan por su tipo de familia hospedados dentro de un tipo de *Layer* específico, las cuales pueden ser modificadas posteriormente dentro de *Rhinoceros 3D*, cabe señalar que los pasos son similares para un modelo a gran o menor escala, es importante indicar que la selección de los elementos pueden variar según aquellos que estén encendidos o apagados dentro de la visualización 3D en *Revit*.

Figura 94

Paso 02 para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*.

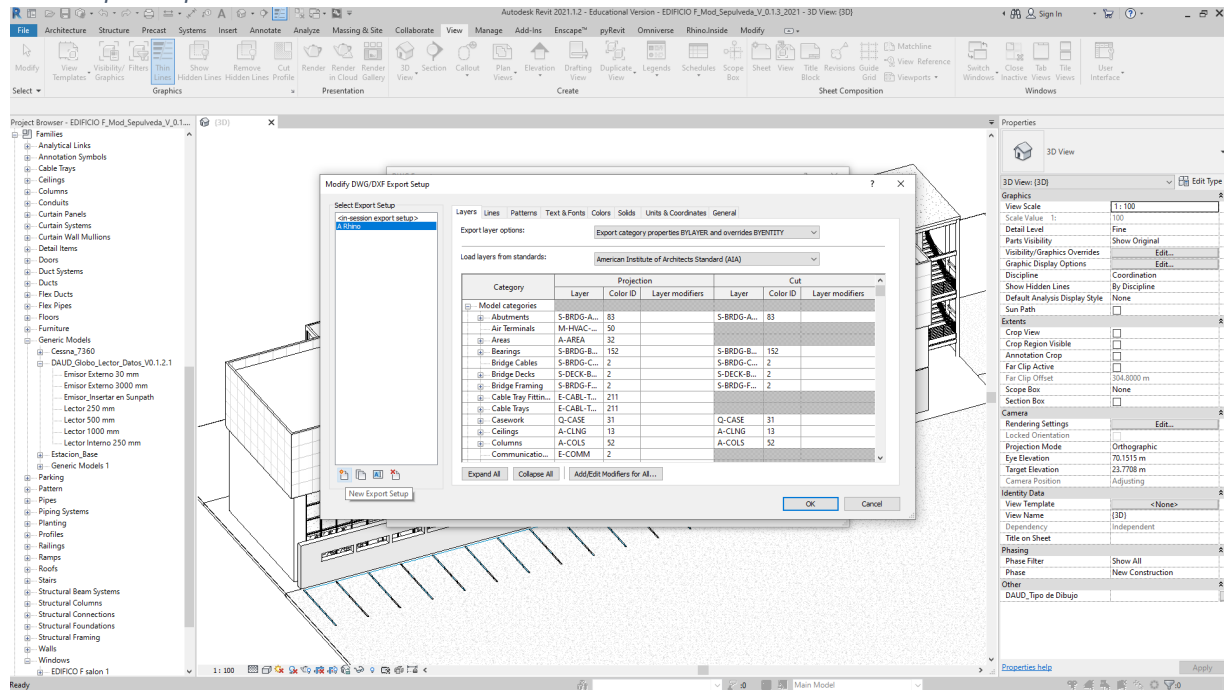


Nota: Segundo paso del proceso inicial para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*. Elaboración propia.

La Figura 95 muestra el tercer paso del proceso para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*, el cual consiste en abrir el nuevo menú o ventana desplegada, se deberán cambiar el tipo de elementos a *ACIS*, y corroborar las unidades con aquellas que se estén en utilizando en ambos programas, cabe señalar que para este trabajo se implementaron las unidades en metros (m), dicha unidad deberá ser verificado dentro de la sección de unidades de *Rhinoceros 3D*.

Figura 95

Paso 03 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D.

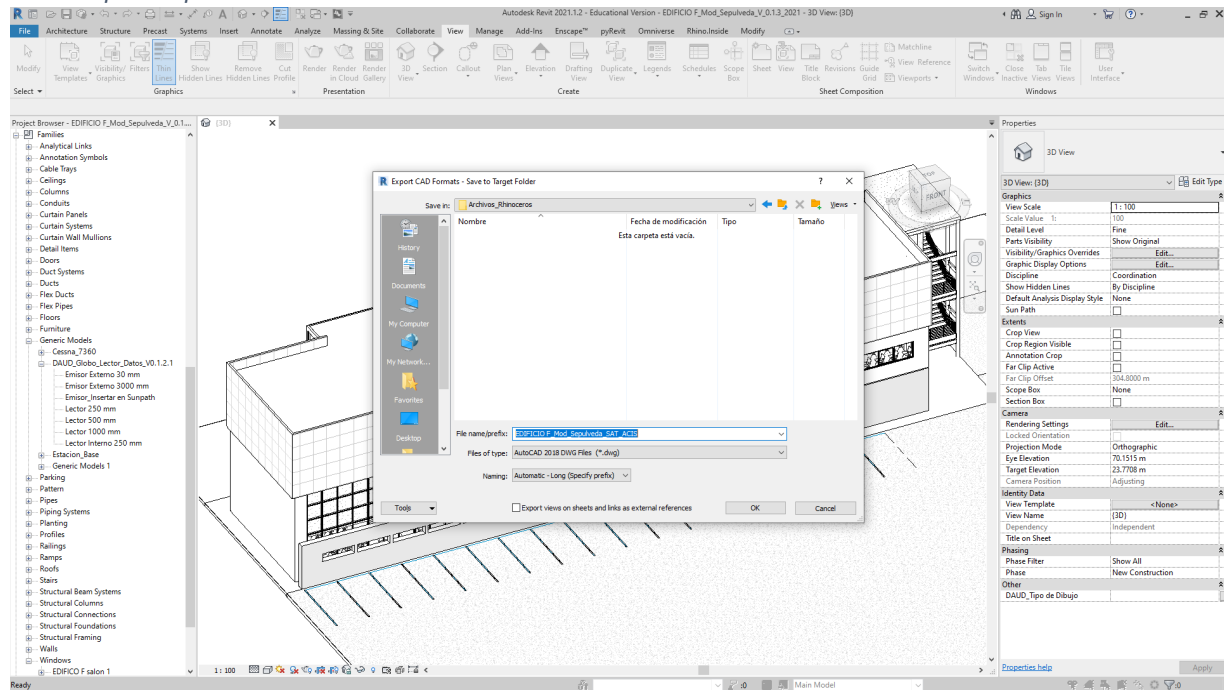


Nota: Tercer paso del proceso inicial para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D. Elaboración propia.

La Figura 96 muestra el cuarto paso dentro del proceso para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D, el cual consiste en tener listos los formatos antes mencionados, este asigna el nombre del archivo y guarda dentro de una carpeta donde se pueda indicar como archivos transitorios para presentarse como formatos y archivos de interoperabilidad de elementos tridimensionales, al cambiar el formato de esta manera, los elementos pierden sus características dentro del archivo, a lo cual, este es uno de los ejemplos básico para trabajar de forma óptima entre programas, no obstante, el comentario va encaminado a que se debe tomar en cuenta que el modelo deja de ser *BIM* y se vuelve vectorial.

Figura 96

Paso 04 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D.

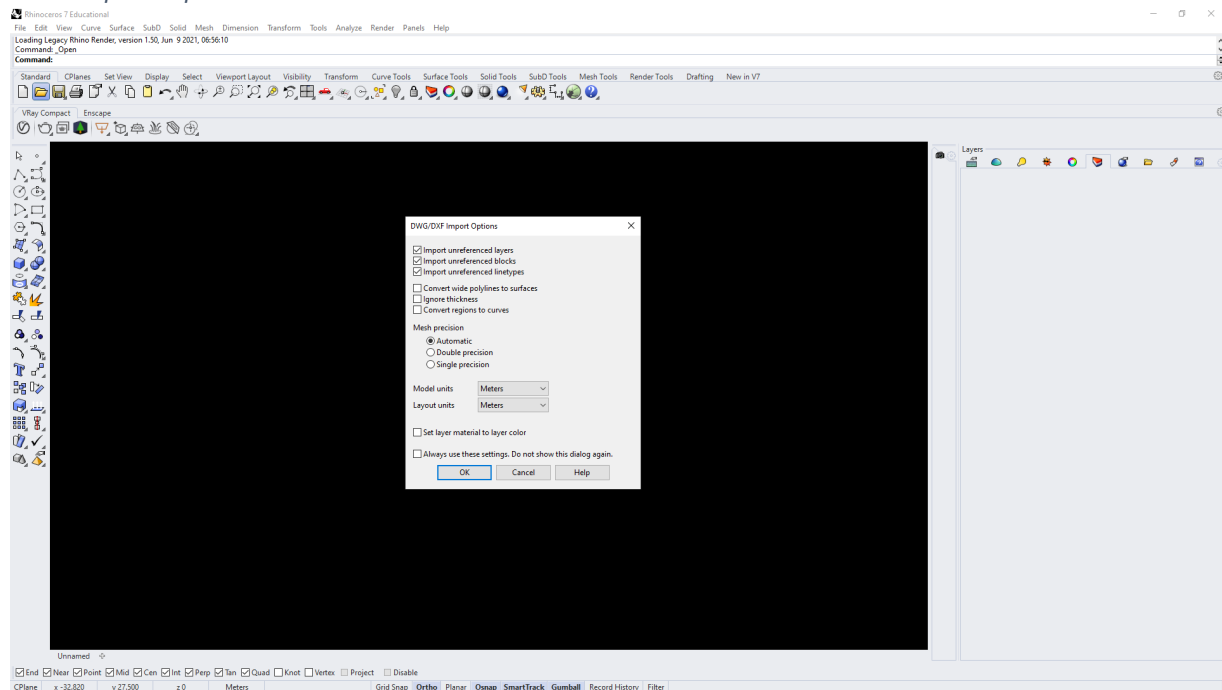


Nota: Cuarto paso dentro de los procesos para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D. Elaboración propia.

Una vez preparado el archivo, se procede a abrirlo dentro de Rhinoceros 3D, la Figura 97 muestra el quinto paso dentro de los procesos para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D, si las unidades dentro de Revit fueron implementadas como metros y se exportaron de igual manera, se deberán dejar los elementos por *default* en el caso de aquellos usuarios nuevos, las opciones pueden modificarse cuando el usuario cuenta con experiencia en ambos programas y tiene control sobre los procesos necesarios para escalar, realizar cambio de unidades, entre otros.

Figura 97

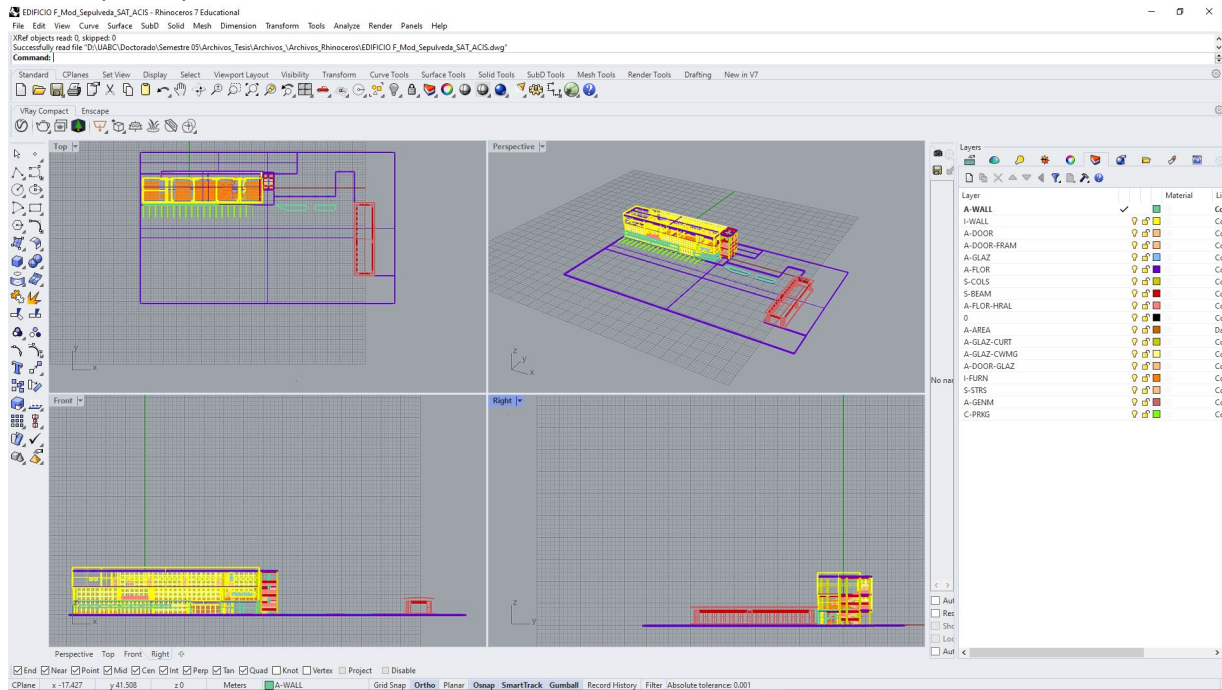
Paso 05 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D.



Nota: Quinto paso dentro de los procesos para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*. Elaboración propia.

Dentro de *Rhinoceros 3D*, aparecerán aquellos *Layers* asignados desde la configuración de *Revit Architecture*, la cual puede variar según la dependencia el formato de estándar de salida. *Rhinoceros 3D* por *default* cuenta con los *Layers* de 0 a 5. La Figura 98 muestra el sexto paso dentro de los procesos para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*, el cual ejemplifica cómo exportar muros, ventanas, entresijos, techos y elementos genéricos, en este punto se puede cambiar el formato de visualización de una o más vistas a Render, con ello, podemos corroborar el tipo de material que contiene cada uno en caso que vinieran precargado con ellos.

Paso 06 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D.

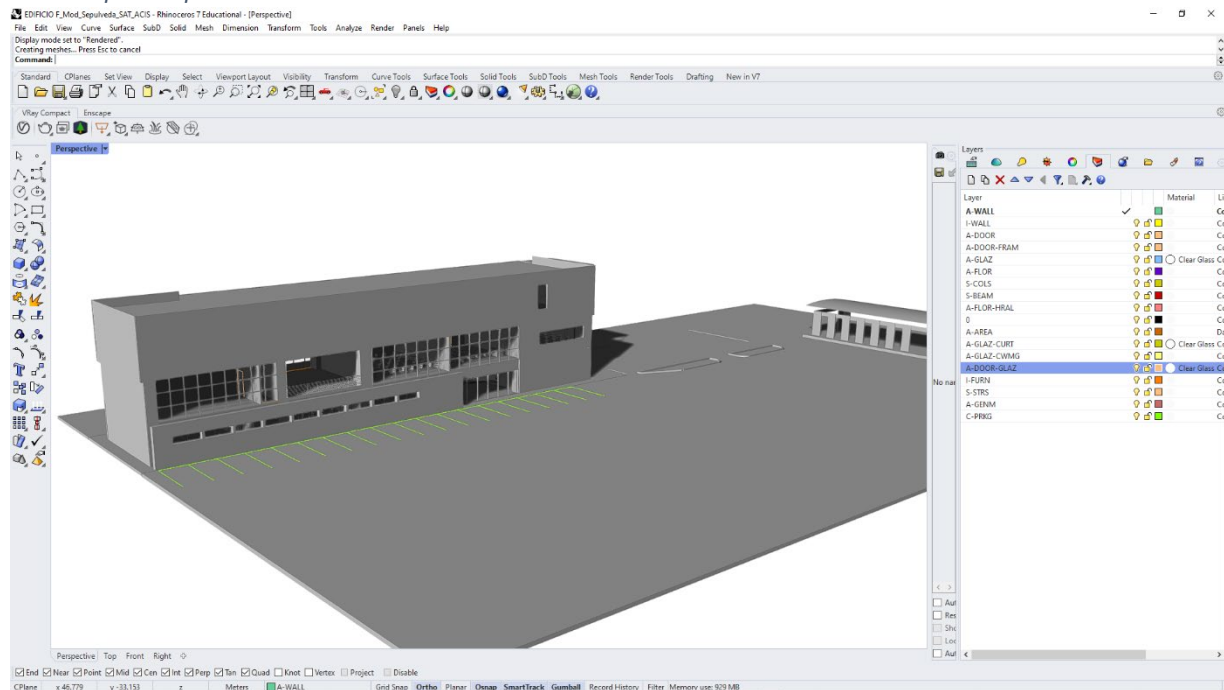


Nota: Sexto paso dentro de los procesos para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*. Elaboración propia.

Por último, dentro de las modificaciones que pueden realizarse, una de ellas es general en los *Layers* que contengan elementos translúcidos como ventanas, ventanales o elementos de agua, por aquellos materiales que contengan características similares, un ejemplo puede observarse dentro de la Figura 99 muestra el séptimo paso dentro de los procesos para exportar modelo de *Revit Architecture a Rhinoceros 3D*, en el caso de este modelo se agregó al *Layer* de *Glass*, un material translúcido *Glass* de *Rhinoceros 3D*, con esto, las ventanas dejan de tener un aspecto gris y permiten visualizar los interiores, cabe señalar que estas modificaciones no tienen efecto sobre otras aplicaciones, ya que dicho *Layer* concentra un objeto tipo *Breps*, *Mesh* o sólidos 3D, esto dependerá del modelo original, este puede modificarse para cambiar el formato de lectura y que permita realizar los análisis que involucren a los formatos de lectura de aplicaciones de simulación, tal es el caso de *LadybugTools* para los análisis dentro de esta investigación.

Figura 99

Paso 07 para exportar modelo de Revit Architecture a Rhinoceros 3D.



Nota: Séptimo paso dentro de los procesos para exportar modelo de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*. Elaboración propia.

El proceso de *AC/S-SAT* puede ser largo y tener dificultades para un usuario no especializado, no obstante, es un medio seguro para realizar procesos entre los programas utilizados dentro de los formatos en el manejo de elementos genéricos que pueden manipularse en ambos programas, pero perderán sus características de información *BIM* al momento de regresar los elementos modificados a *Revit Architecture*.

4.5.2. CONFIGURACIÓN DE MODELO EN REVIT PARA EXPORTAR A RHINOCEROS 3D VÍA RHINO.INSIDE.

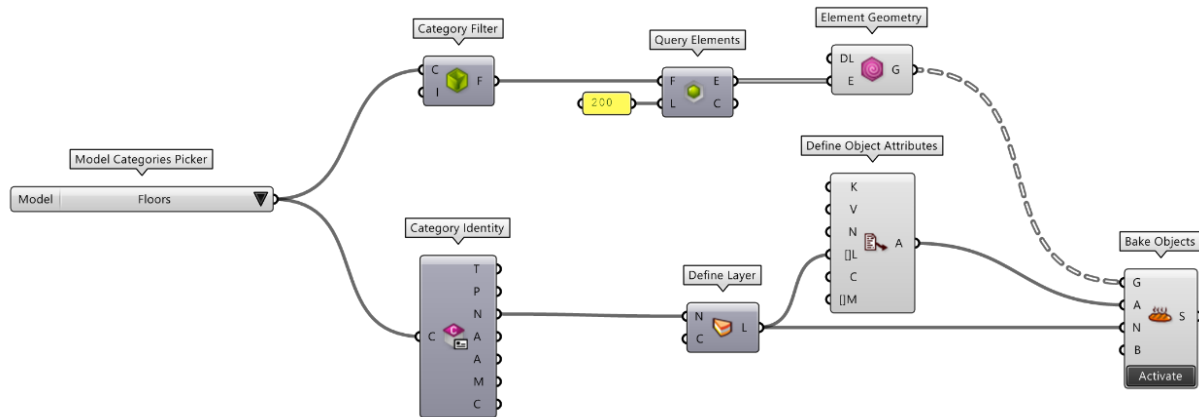
Uno de los formatos más factibles para encontrar el proceso de interoperabilidad entre los programas de cómputo especializado utilizados dentro de esta investigación, a la vez, para facilitar los procesos para aquellos usuarios no especializados, se realizaron dos procesos de exploración de datos utilizados dentro de *Rhino.Inside Revit*, combinado con aplicaciones adicionales dentro de Grasshopper con la finalidad de mantener la mayor cantidad de información *BIM* dentro de *Rhinoceros 3D*, ya que este, por su programación, funciona como un programa vectorial tipo CAD, las aplicaciones utilizadas de manera adicional son: *Lunchbox* y *Elefront*.

La implementación de *Rhino.Inside* proporciona un formato de interacción directa de Revit a Grasshopper, adicional a esto, Grasshopper puede realizar la función de *Bake*, alojando de esta manera los elementos modificados en Grasshopper a *Rhinoceros 3D*. La Figura 100 muestra un *script* básico implementado en parte de los nodos utilizados, que muestra un proceso básico para adquirir los elementos hospedados dentro de Revit, el proceso inicial es adquirir la categoría del modelo, esta tendrá que ser filtrada, posteriormente se filtran los elementos para seguir de una identificación individual de cada elemento geométrico dentro de dicha categoría de modelo, a su vez, se requiere separar por *layer* al definir los atributos que posteriormente podrán ser hospedados en *Rhinoceros 3D*, durante este proceso, los datos de cada elemento se pierden, y ser estos el tipo de material, propiedades, texturas e Id de los mismos.

No obstante, el modelo puede quedar intacto y dentro de *Rhinoceros 3D*, se pueden integrar de nuevo texturas para ser procesadas por un motor de Render posteriormente o recrear algunos elementos poligonales para integrar *LadybugTools* mediante la aplicación de *Breps* o sólidos *CAD* dentro del modelo.

Figura 100

Script básico para interoperabilidad Revit a Rhinoceros vía Rhino.Inside.

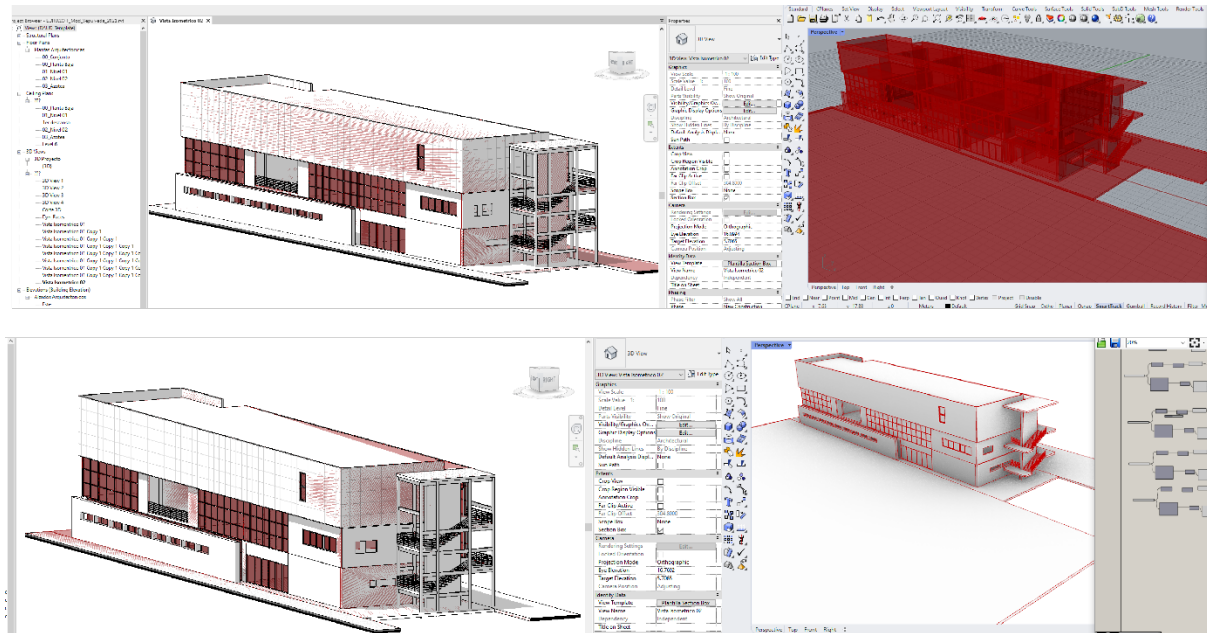


Nota: Script básico para interoperabilidad Revit a Rhinoceros 3D vía Rhino.Inside utilizando nodos de Elefront. Elaboración propia.

Una de las ventajas que contiene el *script* base que se muestra en la Figura 100, es que puede ser recreado la cantidad de veces necesarias para poder adquirir todos los elementos y realizar una migración de información de *Revit Architecture* a *Rhinoceros 3D*, similar al traslado de información del modelo 3D vía *SAT*. Para recuperar información mediante *Rhino.Inside* de manera directa, los elementos y familias pierden su información interna, dejando solamente los elementos como objetos tridimensionales sin información interna y dentro de un *layer* genérico que hospede todos los elementos que Revit contempla como parte de una categoría o incluso, una misma familia de elementos, a consecuencia de ello, el programa puede llegar a tener problemas al momento de recuperar los elementos relacionados con barandales, columnas y elementos genéricos la Figura 101 muestra la visualización del modelo de *Revit* a *Rhino3D* utilizando nodos integrados dentro de *Rhino.Inside*, no obstante, el modelo se traslada de manera uniforme con elementos genéricos, por ello, es importante cambiar el parámetro de exportación de dicho modelo.

Figura 101

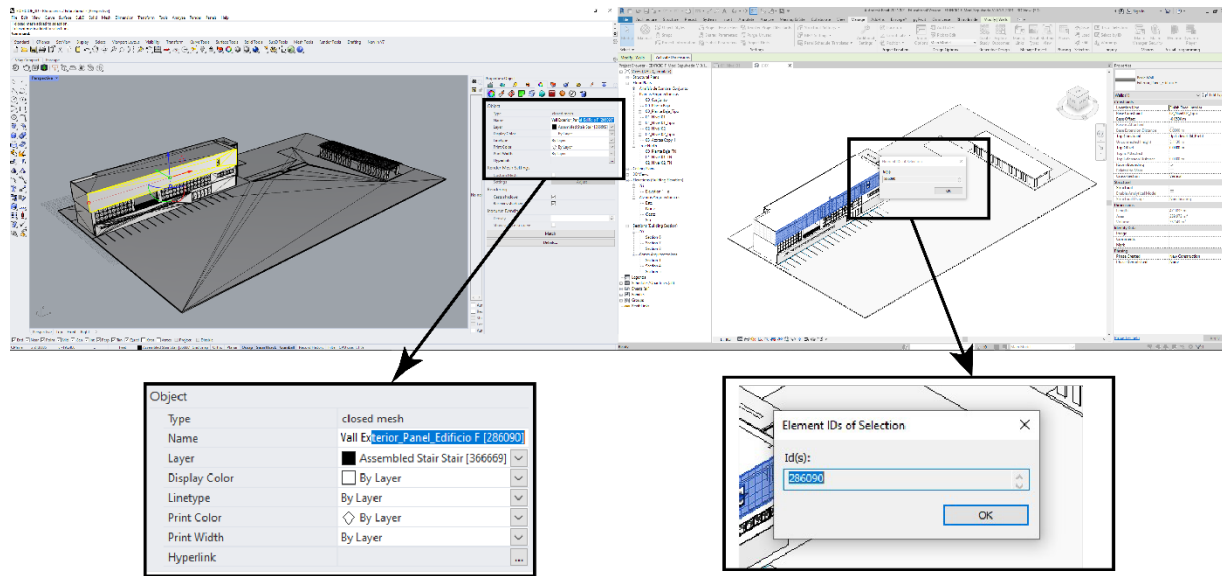
Visualización de modelo de Revit a Rhino utilizando los bakes de Rhino.Inside.



Nota: Visualización del modelo de Revit a Rhino3D utilizando nodos integrados dentro de Rhino.Inside.

No obstante, se pudo identificar que al momento de realizar una exportación vía *FBX*, este tipo de migración de modelos permite que los elementos sigan conservando la información del *Id* como lo muestra la Figura 102, la información del *Id* hospedada dentro del elemento seleccionado tanto en *Rhinoceros 3D* como *Revit*, el cual *Revit* reconoce como elemento único e irreplicable dentro de la misma plataforma, a diferencia de la exportación con el formato *3D SAT* y migración directa con los nodos incorporados de *Rhino.Inside*, donde cada elemento de *Revit* no preserva este tipo de información, al tener este antecedente, podemos encontrar un punto de partida para realizar una incorporación de información para realizar los preparativos de para *LadybugTools* y con ello, permitir que *Galapagos* realice una mejora por medio de la integración de diseño generativo al modelo que pueda ser exportable a *Revit* con la mayor información posible.

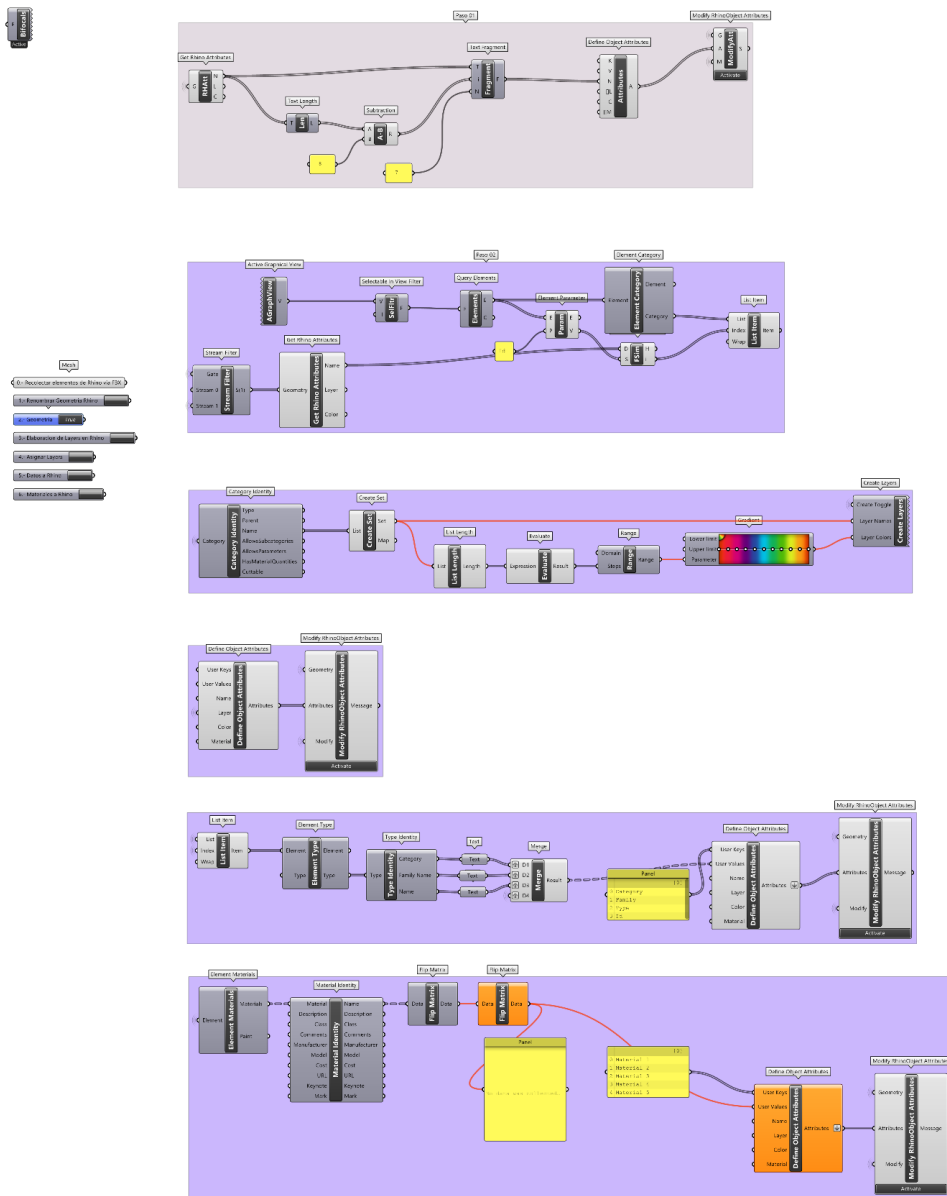
Figura 102
Información del Id.



Nota La información del Id hospedada dentro del elemento seleccionado tanto en *Rhinoceros 3D* como *Revit*, Elaboración propia.

Para poder obtener los elementos con su *ID* independiente, se deberá trabajar *Rhinoceros 3D* desde *Rhino.Inside*, por la naturaleza de esta última aplicación, se deberá contar con la versión más reciente de ambas para poder ser ejecutadas desde *Revit*, cabe resaltar que, si estas no se actualizan constantemente, el procedimiento no podrá ejecutarse, a su vez, se deberá contemplar que los pasos pueden variar ya que dependen de los nodos integrados dentro de esta aplicación, y estos pueden ser modificados en las actualizaciones, modificando su comportamiento o ser eliminados de forma definitiva. La Figura 103 muestra el *script* para migrar información de elementos y familias de *Revit* a objetos y *Breps* en *Rhinoceros 3D*, la importancia de utilizar este procedimiento es preservar la interoperabilidad *BIM* entre este tipo de plataformas con lenguajes internos distintos entre sí, contemplando el no utilizar plataformas de pago especializadas.

Script para migrar información de elementos y familias.

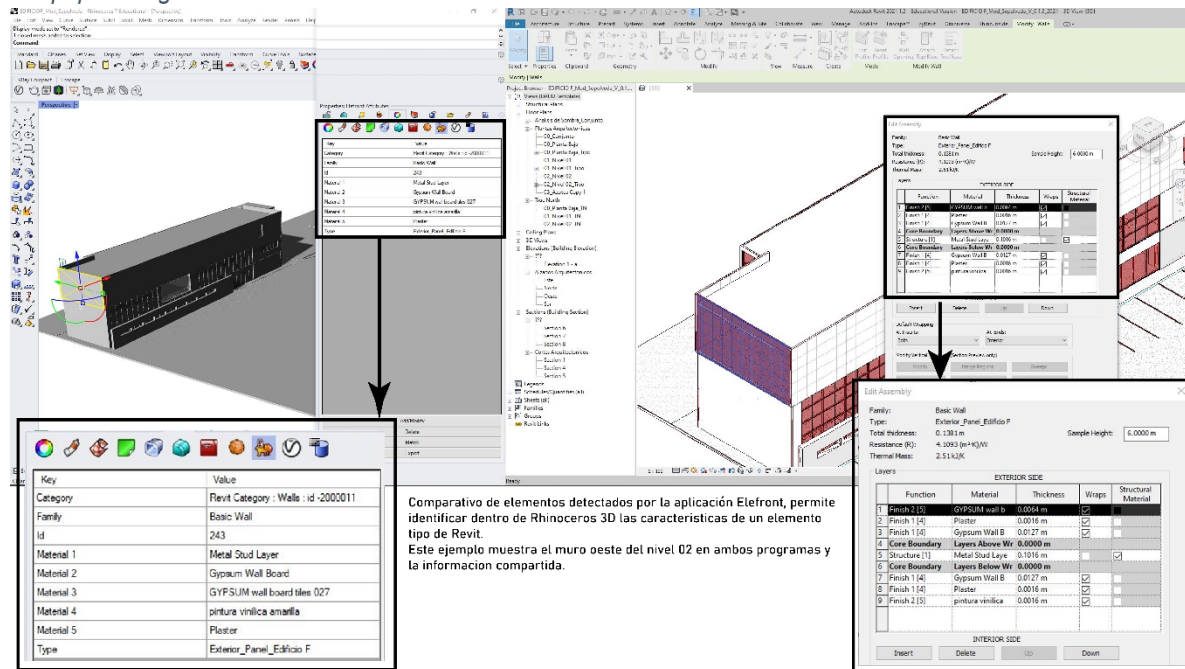


Nota: El script para migrar información de elementos y familias de *Revit* a objetos y *Breps* en *Rhinoceros*. Elaboración propia.

El proceso implementado realiza los movimientos necesarios dentro de ambas aplicaciones para poder obtener todos aquellos datos que posteriormente serán utilizados para

el desarrollo de los procesos básicos del estudio lumínico. La Figura 104 muestra como el muro seleccionado cuenta con las mismas características, al ser estos: nombre, Id del muro, materiales y familia, esto se logró utilizando nodos específicos de la aplicación *Elefront*, esto basado en el proceso desarrollado por van der Heijden (2018), la cual permite incorporar datos que pueda ser utilizados para procesos de fabricación digital dentro del programa de *Rhinoceros 3D* y estos ser utilizados a su vez para enriquecer los archivos con información *BIM* cuando son bien implementados por los usuarios, una vez conocidos aquellos alcances de este formato de trabajo.

Figura 104
Script para migrar información de elementos.



Nota: Información entre ambos programas, conservando la información de elementos de *Revit* a objetos dentro de *Rhinoceros 3D*. Elaboración propia.

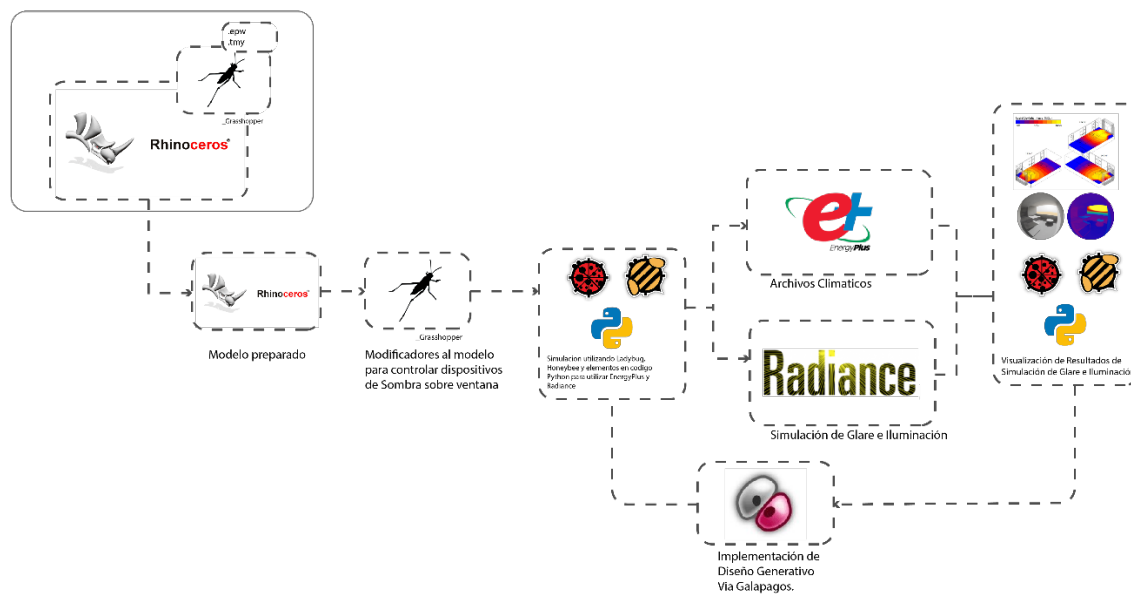
Este proceso puede percibirse como un proceso sencillo de realizar, no obstante, no todo usuario está familiarizado con los procesos para importar o exportar información, y tener una serie de pasos definidos ayuda a que se pueda reproducir por cualquier usuario este o no especializado en el tema.

4.6. CONFIGURACIÓN DE LADYBUG Y HONEYBEE.

LadybugTools, es un conjunto de herramientas que forman parte de un ecosistema de aplicaciones las cuales fueron desarrolladas en lenguaje *Python*, aunque gozan de poca popularidad en el mercado, estas permiten desarrollar simulaciones termo energéticas similares a programas comerciales de alta gama, no obstante, la curva de aprendizaje puede llegar a ser un tanto compleja y puede llegar a requerir de recursos y complementos adicionales para su correcto funcionamiento, dentro de la Figura 105, se observa una visualización general dentro del área de Planta Baja, a la izquierda en la figura se puede observar el modelo en *Revit Architecture* y a la derecha, la aplicación de *Ladybug* con una vista de *Fish Eye* con una vista interior del espacio y las primeras simulaciones en *Glare*.

Figura 105

Proceso de programas y aplicaciones implementadas por Ladybug Tools

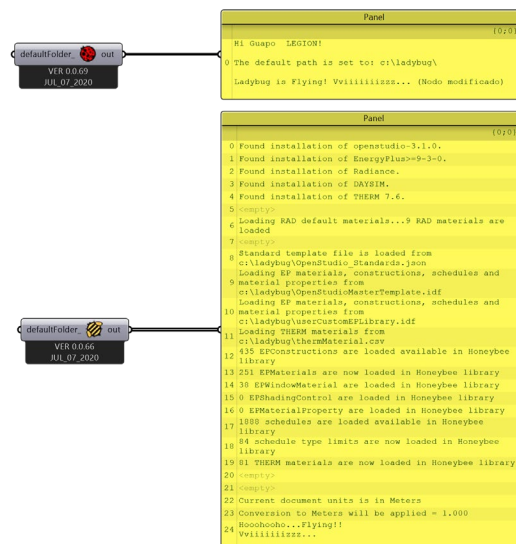


Nota: La figura anterior muestra de manera conceptual los pasos para poder lograr los esquemas de simulación en *Grasshopper* utilizando las herramientas de Ladybug y Honeybee.

Dentro de aquellos elementos para lograr una configuración correcta de ambos programas se requiere la instalación de programas de cómputo adicionales de código abierto reconocidos por la *DOE* (*Department of Energy* por sus siglas en ingles) de los Estados Unidos

de Norteamérica, entre estos *Daysim*, *Radiance*, *Open Studio* y *Energy Plus*, a su vez, requiere tener instalado una versión actualizada de *Python* y *Ironpython*. Es recomendable tener las herramientas actualizadas y tener en cuenta que existen distintas versiones de la misma, para el caso de esta investigación, se utilizó la versión *Legacy* y ser esta *Ladybug* 0.0.69 y *Honeybee* 0.0.66, la Figura 106 muestra el formato de correcto funcionamiento de las aplicaciones de *Ladybug* y *Honeybee*. Adicional a estos nodos, también se utilizó la interfaz de *Bifocals* (MIT, 2016), el cual permite visualizar los nombres en la parte superior de cada nodo.

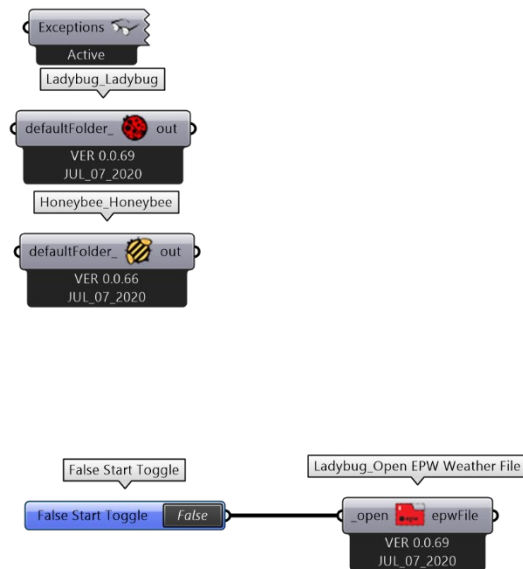
Figura 106
Nodos de *Ladybug* y *Honeybee* funcionando correctamente.



Nota: La figura anterior muestra el correcto funcionamiento de las aplicaciones de *Ladybug* y *Honeybee*.
Elaboración Propia.

Posterior a ello, es necesario configurar el archivo *EPW* tal como lo muestra la Figura 107, mostrando uno de los procesos más eficaces es la implementación de un *False Start Toggle*, el cual permite que cada *script* arranque de manera normal, no obstante, requiere pasar a *True* para adquirir de nuevo los datos del archivo *EPW* y este conectarse al nodo *Open EPW Weather File*, cabe mencionar que existen diversos modos para correr un archivo climático dentro de LBT, no obstante, el procedimiento desarrollado dentro de esta investigación está pensado para correr con archivos locales dentro del ordenador.

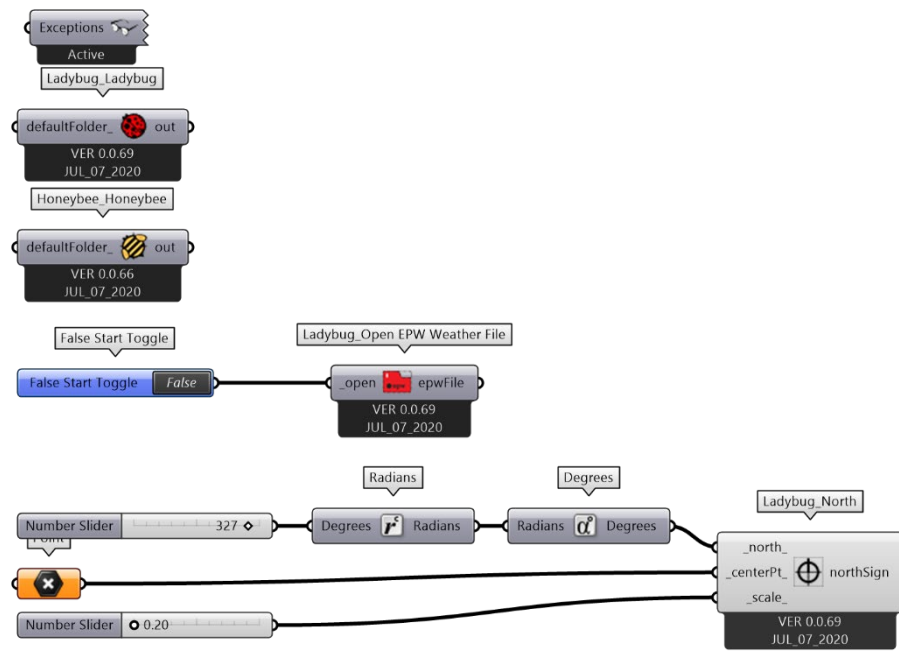
Figura 107
Preparación de acceso a archivo EPW



Nota La figura muestra mediante *False Toggle* un arranque falso para *Ladybug* o *Honeybee*, a su vez, la implementación de *Bifocals* para visualizar el nombre de cada nodo. Elaboración propia.

La Figura 108 muestra Implementación del nodo norte de *Ladybug* para orientar correctamente el/los objetos dentro de *Grasshopper* y obtener un mayor beneficio de los archivos *EPW*, esto con el objetivo de poder orientar de manera adecuada la geometría a ser simulada dentro del programa, el nodo requiere un punto para ubicar su simbología de visualización, un slider que apoye la modificación de la escala de la simbología, el valor por default es 1 unidad de dibujo, esta puede modificarse a un tamaño menor al original, más no puede ser menor que cero o el nodo arrojará un error en Rojo, y no será posible su ejecución, y por último, requiere un *Number Slider* que corra de 0 a 360, este deberá conectarse a un nodo de Radianes y estos convertirlos a Grados antes de ser conectado al nodo tal como se muestra en la imagen.

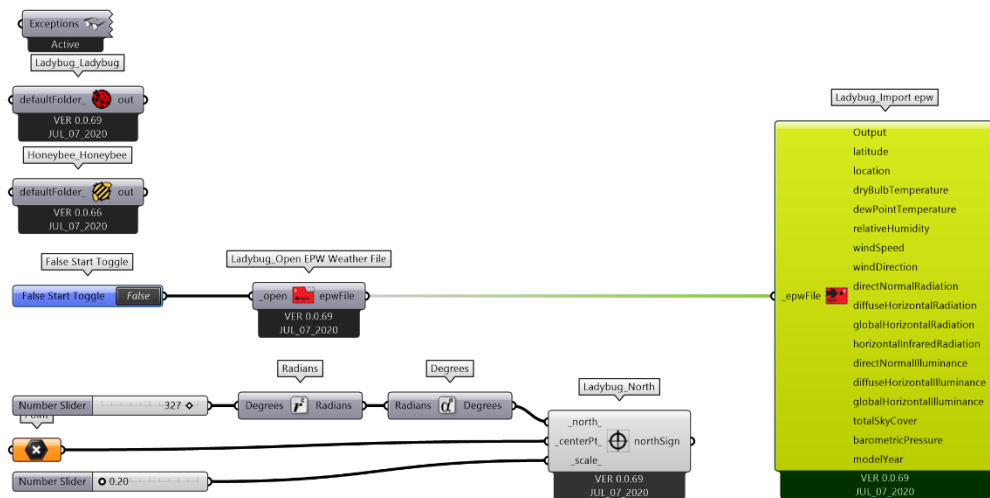
Figura 108
Implementación de norte para orientar correctamente el/los objetos.



Nota: La figura anterior muestra Implementación del nodo norte de Ladybug para orientar correctamente el/los objetos dentro de Grasshopper y obtener un mayor beneficio de los archivos EPW. Elaboración propia.

La Figura 109 muestra los nodos para obtener la información de *EPW*. Este permite recuperar la información de la base de datos del archivo climático interpolado, y con esto obtener aquellos elementos que permitan la interacción con otros componentes de *Ladybug*, tal es el caso de *Honeybee*, el cual funciona de manera similar, no obstante, no todos los nodos o ejecuciones de este último requiere un archivo climático para funcionar.

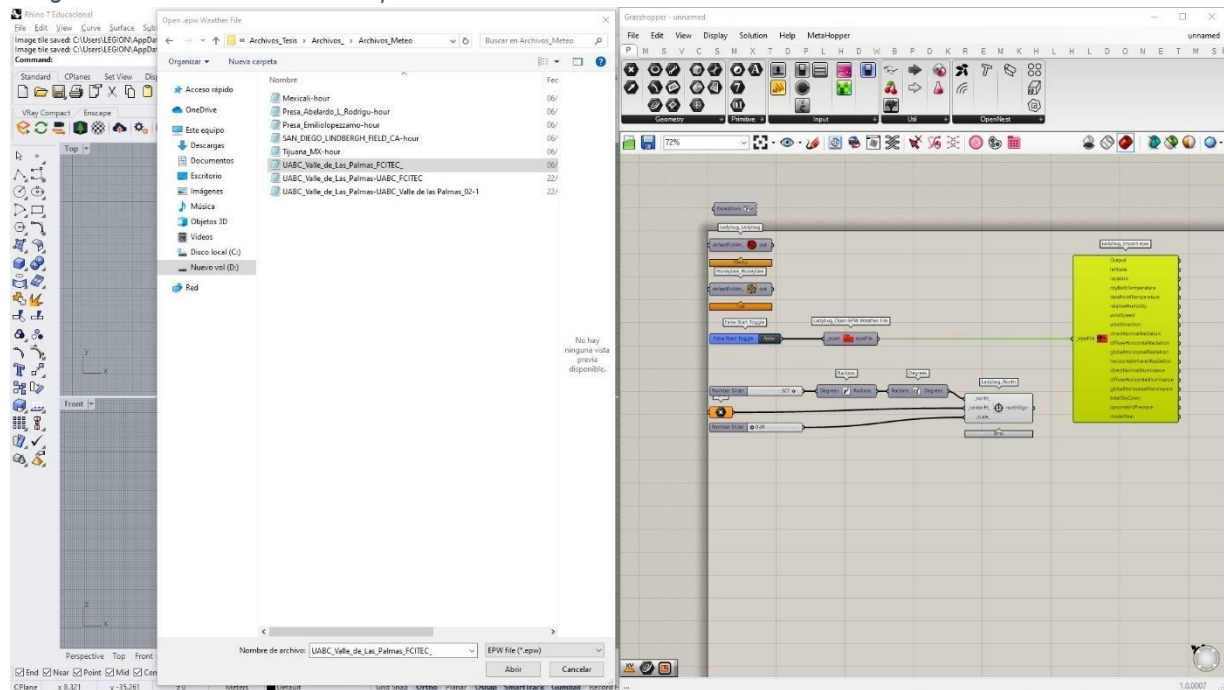
Figura 109
Input EPW es un nodo que permite desglosar la información interna.



Nota La Figura 109 muestra los nodos para obtener la información de EPW, este nodo permite desglosar la información interna del archivo EPW según los requisitos del proyecto. Elaboración propia.

La Figura 110 muestra la activación del *false Toggle* para obtener el acceso al archivo desde un folder de trabajo normal y según las necesidades del usuario, *la importancia de este nodo es que* puede estar conectado directamente al nodo de *Import epw* y ser accionado posteriormente, y esto permite buscar el archivo climático cuando el usuario crea conveniente y no por default como llega a ocurrir normalmente cuando el *script* es ensamblado por un usuario no especializado, para ello es recomendable tener los archivos de manera organizada para tener una búsqueda más eficiente, en caso de utilizar un *Toggle* normal, este siempre buscará la información desde el punto donde fue cargado.

Figura 110
Integración de archivo EPW al Script

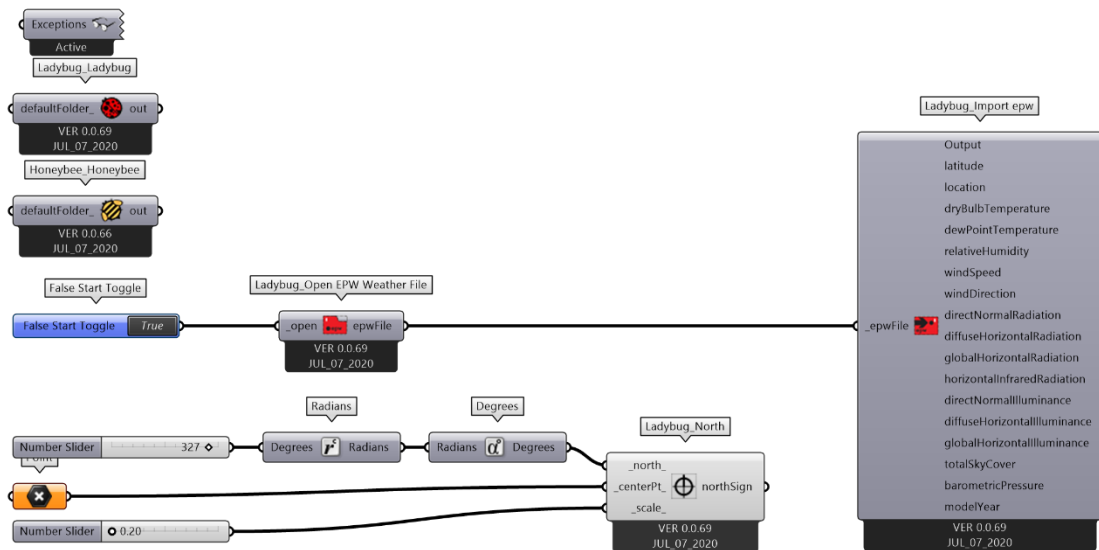


Nota: La Figura 110 muestra la selección de un archivo EPW para ser utilizado dentro del proyecto. Elaboración propia.

La Figura 111 muestra los nodos utilizados dentro del *canvas* de trabajo de *Grasshopper* funcionando correctamente, el estar todos los archivos en color gris significa que no se tiene ningún detalle o error dentro del funcionamiento de este, como se puede observar en la Figura 110 con el archivo *Import epw*. Quedando pendiente de integrar información al nodo de punto, por ello aún es señalado como advertencia. Es importante resaltar que cuando el nodo de importación de archivo *EPW* cambia de color naranja a gris oscuro, significa que este ya tiene la información cargada y puede trabajar en los procesos que le sean requerido⁴.

⁴ *Ladybug* puede trabajar de manera simultánea con distintos nodos, no obstante, se recomienda trabajar procesos individuales si no se cuenta con una máquina de gama media alta, procesador i7 con tarjeta gráfica arriba de 4Gb y memoria RAM superior a los 16GB.

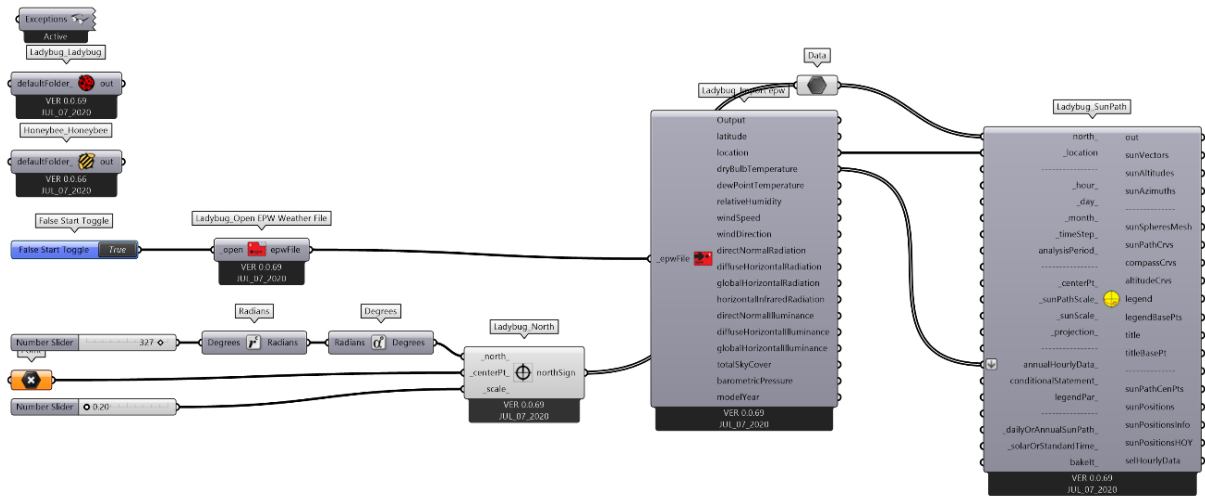
Figura 111
Nodos funcionando correctamente.



Nota: La figura anterior muestra los nodos funcionando estar todos los archivos en color gris, significa que no se tiene ningún detalle. En la presente imagen solo queda pendiente de integrar información al nodo de punto, por ello aún es señalado como advertencia. Elaboración propia.

Una de las funciones que pueden llegar a ser implementadas para visualizar datos climáticos, es la de *SunPath* o trayectoria solar, como lo muestra la Figura 112 con la integración de los datos que requiere este nodo en particular es el norte, localización y el caso muy específico, la temperatura de bulbo seco para empezar a realizar una simulación de mes-día-hora y al agregar el elemento de bulbo seco, se anexa la temperatura.

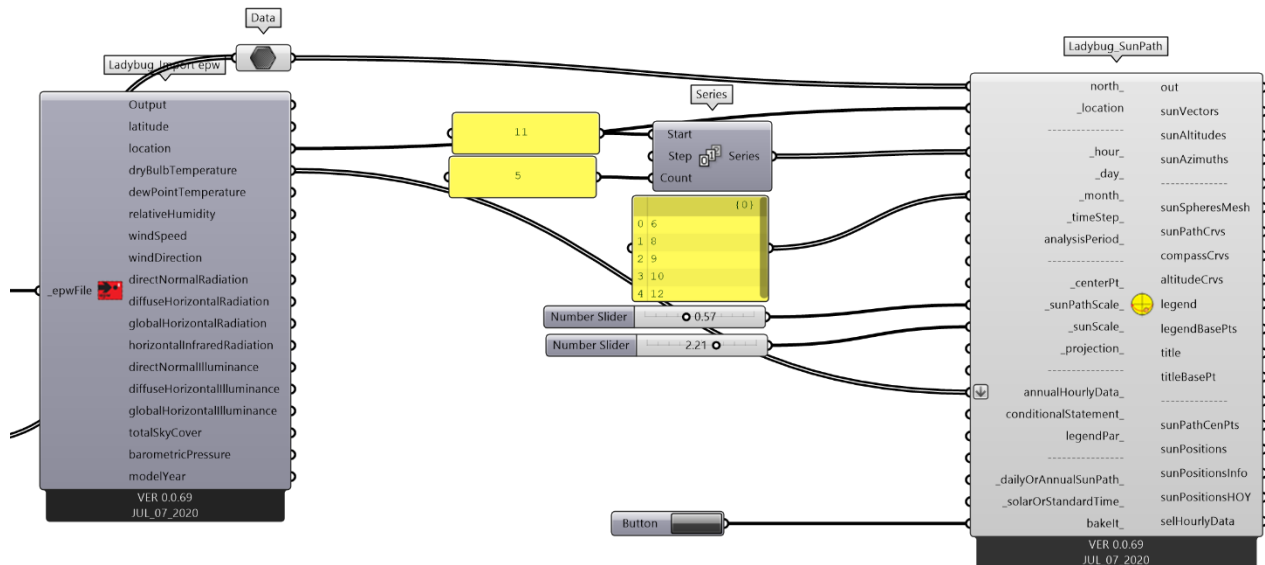
Figura 112
Integración del nodo de SunPath 01.



Nota: La figura anterior muestra la integración del nodo de *Sunpath*, este recopila información de los nodos anteriores para graficar el recorrido solar según los datos del archivo EPW. Elaboración propia.

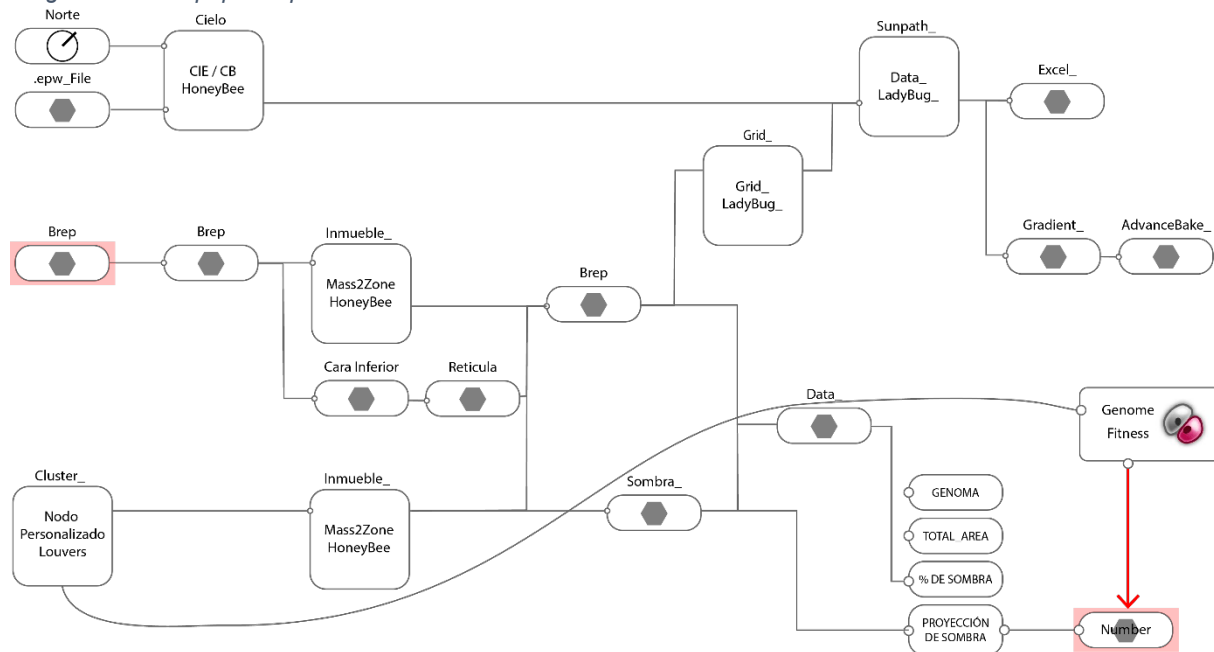
Por su parte, la Figura 113 muestra la integración de datos dentro del nodo de *Sunpath*, este puede arrojar información específica por Mes, Día, Hora, Temperatura y tener un *display* con distinta escala y señalar datos. A lo cual también de tiempo, ya sea por un día o un periodo de análisis, adicional, un punto para centrar la información, una escala para la proyección solar, otro elemento de escala para el sol y la proyección del mismo y finalmente un botón para poder realizar el *Bake* del nodo.

Figura 113
Integración de datos a nodo de SunPath 02.



Nota: La figura anterior muestra la integración de datos dentro del nodo de *Sunpath*, este puede arrojar información específica por Mes, Día, Hora, Temperatura y tener un *display* con distinta escala y señalar datos. Elaboración propia.

Para tener un mayor control sobre los datos, estos se pueden integrar de manera adicional en conjunto de elementos que apoyen en conjunto de los nodos requeridos, La Figura 114 muestra un diagrama general del proceso implementado para generar la simulación de los elementos de protección pasiva en conjunto de la optimización mediante diseño generativo al hacer uso de *Galapagos*.



Nota: La figura anterior de manera general los elementos empleados en el desarrollo del *script* para optimización de elementos vía *Ladybug* y *Galapagos*.

Los pasos anteriores, son la antesala al uso de la herramienta utilizando aquellos nodos de manera general simplificando los distintos algoritmos como elementos auxiliares para la visualización e interacción de información proveniente de un archivo climático interpolado, esto con la finalidad de optimizar aquellos elementos y espacios necesarios que pueda llegar a tener distintos problemas como ganancia térmica, iluminación directa que provoque des confort al interior de los espacios, *Glare* sobre superficies de trabajo, entre otros.

4.7. SOLUCIONADORES EVOLUTIVOS; VIA GALAPAGOS.

Galapagos forma parte de las extensiones integradas dentro de la aplicación de *Grasshopper*, la cual facilita la exploración de realizar diseño generativo mediante la aplicación de algoritmos evolutivos, al hacer una implementación y uso de *Genes* o *Genomas* que representan un código único y una solución específica encadrada a un problema en particular (Omid, 2019; Rutten, 2011). El uso e implementación de este tipo de herramientas dentro de proyectos en las distintas etapas de diseño, o bien, dentro de aquellos inmuebles construidos y en uso, son cada vez más utilizados para obtener mejoras constantes dentro de un proyecto, ya que una de las ventajas que puede otorgar este tipo de elementos, es obtener una variedad de resultados producto de múltiples (*n'*) *cantidad de iteraciones que desarrolle el algoritmo bajo condicionantes supervisadas, según las características otorgadas por el usuario.*

Si bien, existen distintos algoritmos orientados a la optimización, los más utilizados son: *TPE*, *NSGA-II*, *CMA-ES*, Aleatorio y por *Grid* o Rejilla, *Galapagos* funciona con *NSGA-II* y modificaciones a *CMA-ES*, como se menciona en la Tabla 5, cada simulación que se llevó a cabo tuvo los siguientes lineamientos, los cuales pueden llegar a variar según el tipo de proyecto, a su vez, cabe resaltar que el uso de *Galapagos* dentro de la exploración de diseño generativo, no necesariamente verá reflejado un resultado óptimo o deseable como lo menciona el autor dentro de la página principal, ya que son distintos los factores que involucran el poder obtener lo que el usuario busca en particular, por ello se necesita tener una secuencia en el uso de los elementos a emplear.

4.7.1. COMPONENTES

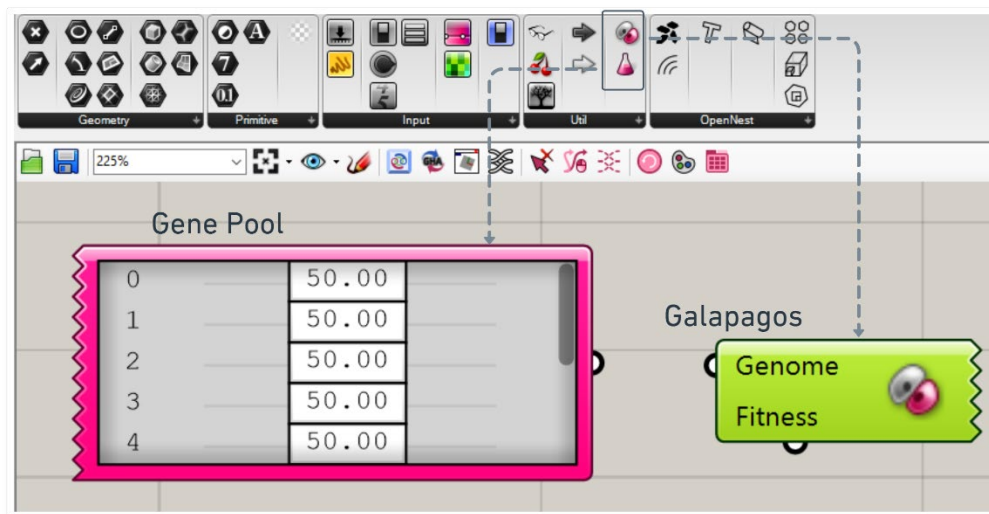
Galapagos cuenta con dos componentes principales para el desarrollo de un estudio uní-objetivo o multiobjetivo, los cuales vienen integrados en la sección de utilidades dentro de Grasshopper. El nodo principal cuenta con dos elementos distintivos para generarla la información específica para el desarrollo de diseño generativo, una de estas funciones es denominada Genomas y la segunda se denomina Fitness o también conocido como optimizaciones. Es importante tener en consideración que cada proyecto puede variar, los formatos para determinar los valores de maximización o minimizar los resultados a encontrar deberán ser otorgados por el usuario, por lo tanto, se deberán considerar complementos de la aplicación como el nodo de *Gene Pool* y *Galapagos*, no obstante, cada caso puede ser único y requerir de elementos especiales para.

El funcionamiento principal del algoritmo desarrollado es trabajar bajo la premisa de elitismo ante los datos a su alcance para obtener su correcto funcionamiento. Este realiza un análisis multi escenario mediante el cual va generando un conjunto de poblaciones basadas en la información que pueda desarrollar las distintas variantes, convirtiéndose pues, en uní-objetivo, con un resultado específico a otorgar al tener distintas generaciones y según las características otorgadas por el usuario, el proceso busca aquellas a través de estas cumpla con las condiciones de premisa lógica, para el caso de esta investigación, las decisiones estuvieron basadas en los mejores principios genéticos, optando por seleccionar las mejores 5 opciones por cada iteración realizada.

A su vez, se fueron indicando distintas restricciones indicadas dentro del algoritmo, originalmente se asignó una serie de sliders libres, dentro de estas primeras simulaciones, la opción viable para el programa era cerrar por completo la ventana, mediante este tipo de simulaciones, se estuvieron analizando los distintos resultados, variando en cada simulación por medio de la restricción de elementos, con ello se identificó que se tenía que limitar la cantidad de *Louvers* y el ángulo, optando de 8 a 5 *Louvers* y de una libertad de 30 a 15 grados. En base a esto, el algoritmo realiza una evaluación multi escenario y multi criterio, contenido en un elemento de sencillez geométrica para su análisis uní objetivo.

Dentro de los componentes principales podemos encontrar dos, *Gene Pool* y *Genome*, como se muestra en la Figura 115, no obstante, *Gene Pool* o la piscina de genes como podría ser traducido el nombre del nodo, solo funciona con elementos que contienen información similar, los sliders integrados inician con el mismo número y terminan con el mismo número, esto puede traer problemas al momento de querer usar números enteros, números decimales o grados, ya que pueden requerir configuraciones independientes, dejando este nodo sin uso, tal ocurre para la presente investigación.

Figura 115
Nodo principal de Galapagos y Gene Pool

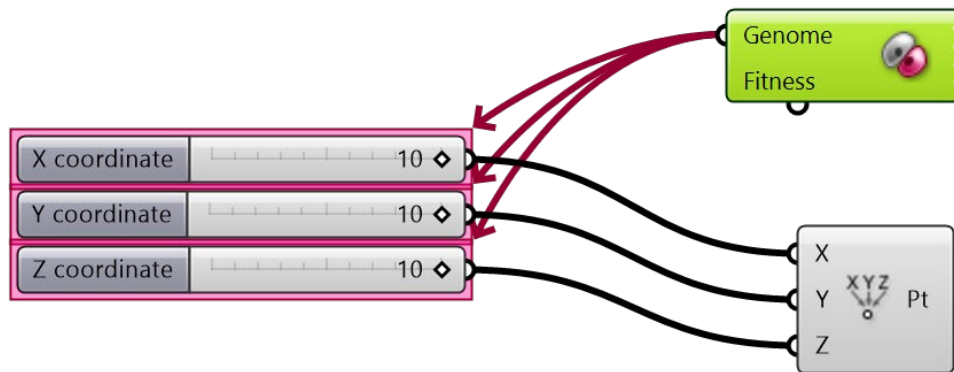


Nota: La figura anterior obtenidos directamente desde el *Ribbon* de *Grasshopper*. Existen diversos tipos de extensiones para el desarrollo de diseño evolutivo, *Galapagos* viene por defecto con *Grasshopper* y no requiere activación o pasos adicionales. Elaboración propia basado en la información interna del programa.

4.7.2. GENOMAS

Dentro de la optimización de un proyecto, los genomas pasan a ser aquellos elementos que se buscan optimizar dentro de la evolución de los elementos a diseñar, en el caso de esta investigación, los genomas son aquellos elementos asociados a la protección del interior de un espacio, los parámetros que son considerados van desde cantidad, separación, ángulo o inclinación, largo, entre otros. Ahora bien, el formato en el que funciona la conexión de los genomas desde el o los nodos de *Galapagos* es distinto al de un formato tradicional, ya que este se conecta de derecha a izquierda en vez de conectarse de izquierda a derecha como lo muestra la Figura 116.

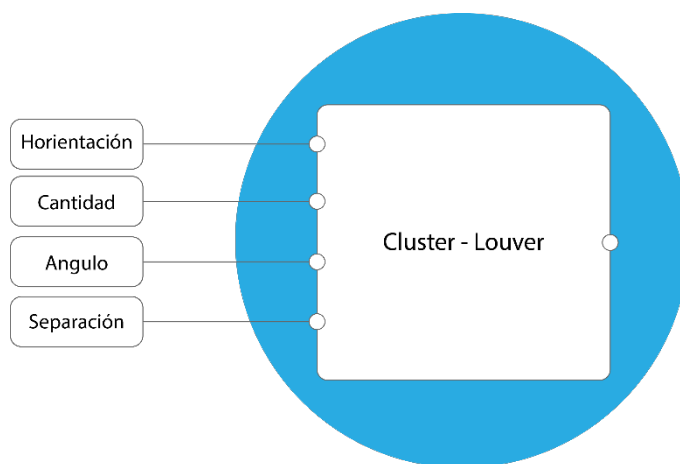
Figura 116
Conexión a Nodo de Galapagos.



Nota: Ejemplo de conexión de Nodo de Galapagos, los Genomas son conectados de derecha a izquierda. Elaboración propia.

Para el desarrollo de los elementos pasivos, se implementó el nodo de *Genome*, el cual se conectó a un nodo tipo *cluster* que contiene los elementos necesarios para que la extensión de *Galapagos* puede realizar los procesos e iteraciones necesarias para mejorar las condiciones internas del espacio a simular, dentro de la Figura 117 se muestra en formato abstracto el nodo personalizado para la elaboración de *Louvers*, este considera aquellos elementos esenciales para la elaboración de protecciones pasivas. Si bien existen diversos tipos de extensiones para el desarrollo de diseño evolutivo, *Galapagos* viene por defecto dentro *Grasshopper* y no requiere activación o pasos adicionales. Esto presenta una ventaja, ya que al ser utilizado *Out of the Box*, el usuario puede empezar a realizar ejercicios básicos para familiarizarse con el sistema, configuración y posibles resultados.

Figura 117
Cluster personalizado para elaborar Louvers

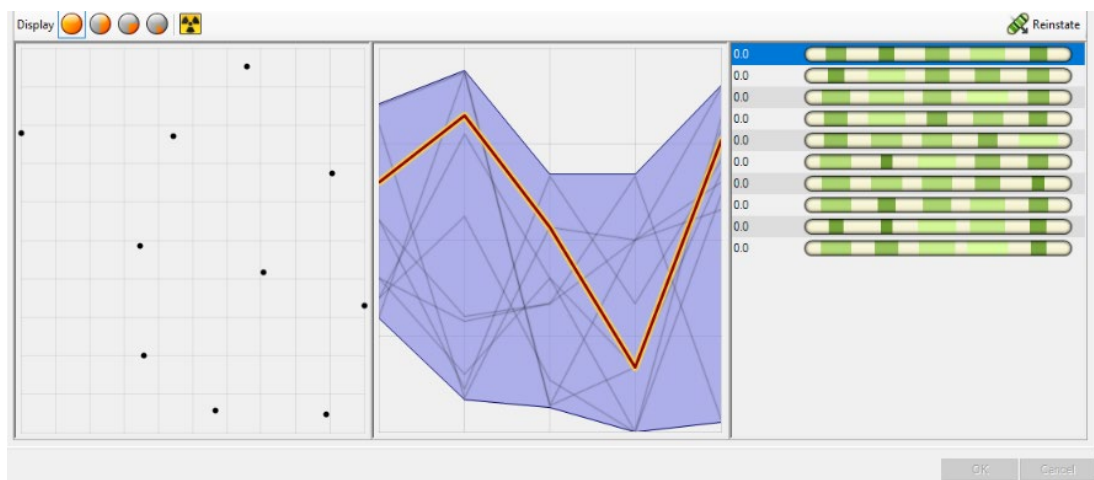


Nota: La figura anterior muestra un Cluster personalizado para la elaboración de Louvers considerando elementos esenciales para la elaboración de protecciones pasivas. Elaboración propia.

Los *cluster* implementados se encuentran conformados por un script que puede ir desde un formato sencillo comprendido por un par de nodos internos, hasta elementos complejos personalizados, estos pasan a ser una opción viable para aquellos usuarios que no están embebidos en programación *Python* o *C#*, en el caso del *cluster* inicial para esta investigación, este controla la orientación de los *Louvers*, cantidad de estos, ángulo de inclinación y separación entre ellos, estos elementos se conectan con otros nodos, unos parte de *LadybugTools*, y otros elementos que tendrán como resultado elementos optimizados según el espacio requerido.

Los genomas obtenidos, proporcionan resultados optimizados según la configuración inicial de la herramienta a implementar, estos pueden buscar una optimización a reducir o maximizar las derivaciones de búsqueda, la Figura 118 muestra el formato de visualización de genomas, este se divide en tres secciones, la primera muestra un numero de poblaciones, los cuales se van agrupando conforme se encuentran similitudes y mejoras al diseño, la segunda, muestra una gráfica lineal donde empiezan a intervenir todos los resultados, la presente imagen tiene como selección el mejor genotipo de una corrida inicial, por último, se tiene la visualización de los genomas por medio de una serie de barras donde intervienen las mejores opciones según los elementos seleccionados de las iteraciones realizadas.

Figura 118
Visualización de Genomas dentro de Galapagos.



Nota: Los elementos que se observan dentro de la Figura anterior, corresponden a un ejemplo de genoma, el cual está dividido en 3 partes, al tener mayor relevancia la visualización de barras.

Las iteraciones por su lado, corresponden a un grupo de simulaciones realizadas de las cuales podemos rescatar información individual, tal es el ejemplo que se muestra dentro de la Figura 119, dentro de esta podemos apreciar que por cada simulación realizada para obtener nuevos datos, se genera un archivo el cual guarda toda la información relevante, fecha, hora y tipo de registro, a la vez, el numero de la generación, el porcentaje de biodiversidad generada o porcentaje nuevo a partir del individuo o diseño inicial, posterior a este, se va creando una serie de genomas relacionados con los datos proporcionados, los cuales relacionan un porcentaje de

los valores con los que encuentran relación dentro del *Pool/Gen*, un nodo diseñado especialmente para *Galapagos*, no obstante, este nodo en particular presenta sus propias limitaciones, las cuales impiden utilizarse dentro de esta investigación, por lo tanto, se utilizan sliders con números enteros que varían en los valores internos.

Figura 119 Visualización de resultados textuales de los Genomas.
Visualización de resultados textuales de los Genomas

```

Galapagos Editor
Options Solvers Record
Galapagos Species Record
-----
Created on: Thursday, 22 July 2021 (14:20:47)

Generation 1
{
  Bio-Diversity: 0.901
  Genome[0], Fitness=0.00, Genes [30% - 61% - 20% - 17% - 65%]
  Genome[1], Fitness=0.00, Genes [90% - 8% - 33% - 67% - 6%]
  Genome[2], Fitness=0.00, Genes [60% - 5% - 20% - 50% - 62%]
  Genome[3], Fitness=0.00, Genes [80% - 6% - 7% - 17% - 24%]
  Genome[4], Fitness=0.00, Genes [20% - 35% - 53% - 17% - 60%]
  Genome[5], Fitness=0.00, Genes [30% - 91% - 33% - 67% - 35%]
  Genome[6], Fitness=0.00, Genes [55% - 65% - 0% - 0% - 50%]
  Genome[7], Fitness=0.00, Genes [65% - 11% - 80% - 50% - 76%]
  Genome[8], Fitness=0.00, Genes [75% - 89% - 67% - 17% - 79%]
  Genome[9], Fitness=0.00, Genes [35% - 99% - 93% - 83% - 96%]
  Genome[10], Fitness=0.00, Genes [85% - 94% - 7% - 50% - 65%]
  Genome[11], Fitness=0.00, Genes [40% - 35% - 40% - 50% - 97%]
  Genome[12], Fitness=0.00, Genes [65% - 49% - 0% - 17% - 22%]
  Genome[13], Fitness=0.00, Genes [65% - 78% - 73% - 17% - 53%]
  Genome[14], Fitness=0.00, Genes [45% - 63% - 7% - 0% - 36%]
  Genome[15], Fitness=0.00, Genes [40% - 15% - 40% - 0% - 51%]
  Genome[16], Fitness=0.00, Genes [40% - 63% - 7% - 0% - 88%]
  Genome[17], Fitness=0.00, Genes [25% - 51% - 53% - 67% - 2%]
  Genome[18], Fitness=0.00, Genes [30% - 78% - 33% - 33% - 74%]
  Genome[19], Fitness=0.00, Genes [5% - 90% - 60% - 83% - 13%]
}

```

Nota: La figura anterior muestra los resultados de la primera generación visualizada en texto y no en formato de barras de los Genomas

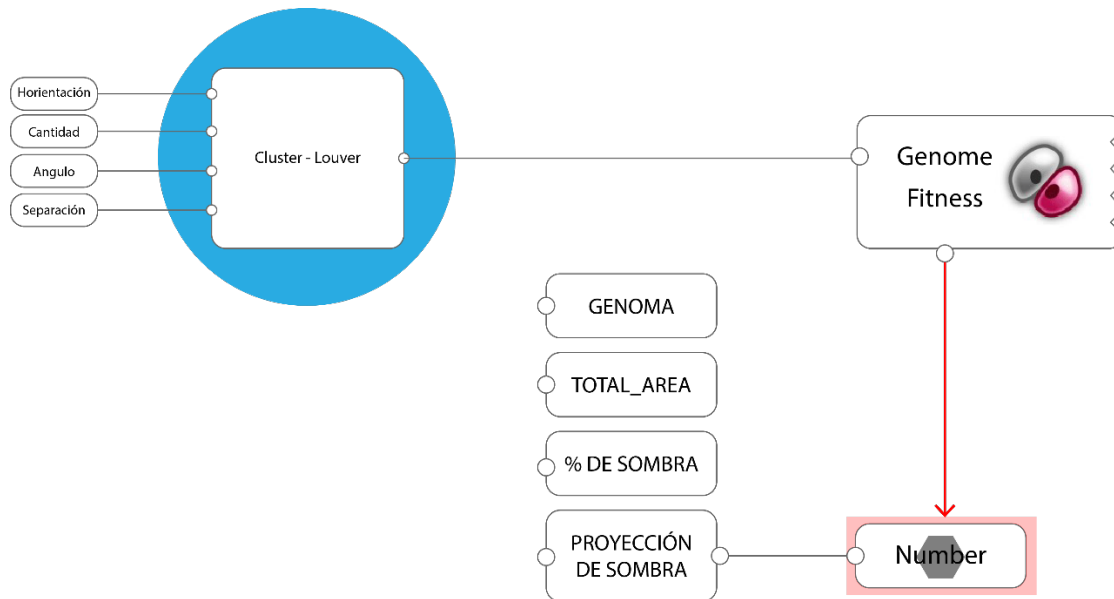
4.7.3. FITNESS - OPTIMIZACIONES

Para realizar las simulaciones uni-variables, *Galapagos* requiere un solo parámetro que proporcione un valor de optimización para un funcionamiento óptimo de la aplicación, ya que esta intentara maximizar o minimizar las propiedades de los elementos otorgados, con base en esto, el usuario deberá realizar una revisión de los datos con los que se llevaran a cabo cualquier tipo de simulación, ya que de ser un elemento multivariable, estos deberán concentrar sobre un nodo que funcione como contenedor de los distintos valores el cual es llamado *Cluster* comúnmente, y a su vez, este utilizará un rango promedio como resultado del mismo.

Los parámetros de optimización de valores necesitan ser de tipo numéricos, esto con la finalidad de poder realizar procesos que sean relativos a promedios, mínimos y máximos, ya que la aplicación tiene problemas identificando valores alfanuméricos. Por ende, se debe revisar que los datos sean de tipo numérico y su contenedor logre realizar el cambio de manera automática a este tipo de valores. Es por esta razón, se opta por encapsular el valor deseado dentro de un nodo de número o elemento *slide number*, con la finalidad de que se alcance a leer el valor que se otorga a Fitness.

Tal como lo muestra la Figura 120, la conexión de genoma a los valores del clúster y de Fitness al nodo de valor numérico donde se concentra la proyección de sombra. La proyección de sombra dentro del espacio se convierte en el valor a optimizar, en este caso, se puede sombrear alrededor del 70% del total del área interior, en caso de que sea un valor numérico acompañado de un elemento grafico o alfabético, se deberán separar los valores.

Figura 120
Optimización de algoritmo vía Galapagos 02.

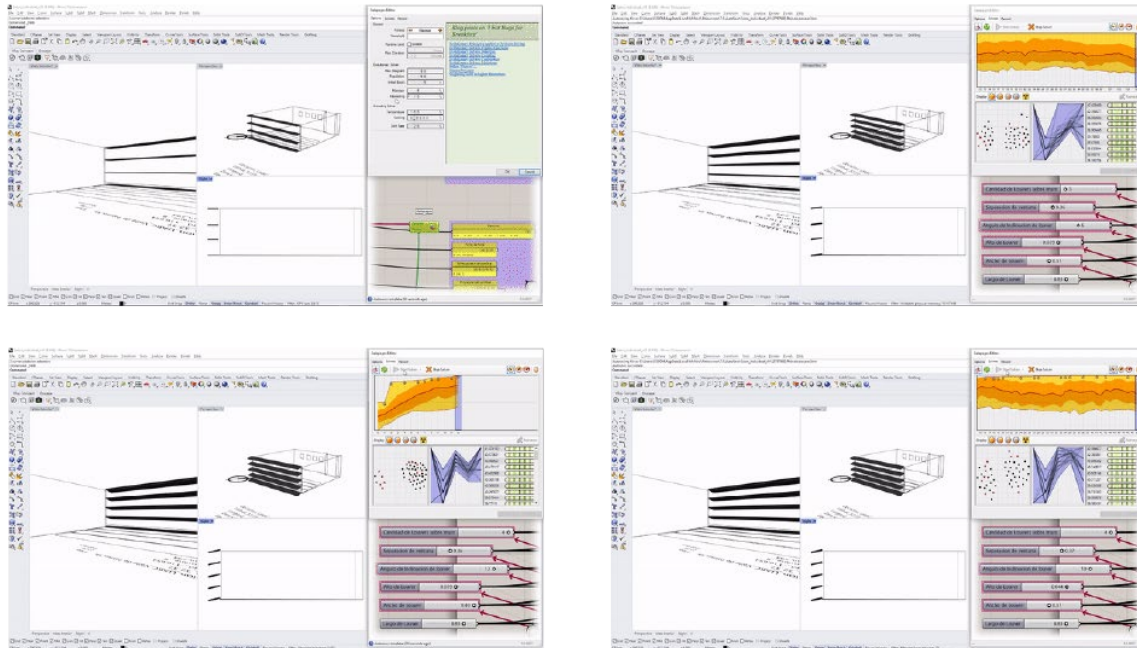


Nota: La figura anterior muestra la conexión de *Genome* a los valores del clúster y de *Fitness* al nodo de valor numérico donde se concentra la proyección de sombra. La proyección de sombra dentro del espacio se convierte en el valor a optimizar, en este caso, se puede sombrear alrededor del 70% del total del área interior. Elaboración propia.

Cabe mencionar que los elementos personalizados tipo *Cluster*, son empleados en vez de aquellos de tipo *Gen Pool* (véase Figura 115), una de las limitaciones que tiene un nodo no personalizado, y ser este el manejo limitado de parámetros, ya que estos solo pueden manejarse bajo el mismo criterio para todos los parámetros, los cuales solo pueden manejarse con criterios similares o en los mismos rangos, ya sea con números enteros o fraccionarios.

Por otro lado, La Figura 121 muestra la visualización de *Galapagos* optimizando el *cluster* en distintas etapas del proceso, hasta llegar a un conjunto de opciones óptimas para el desarrollo de actividades al interior, con ello se puede hacer referencia a un parámetro de optimización valores de la misma manera que puede hacer conexiones a parámetros regulares de *Grasshopper*. Ya que se permiten tanto parámetros flotantes como de salida dentro de la aplicación, lo cual hace que esta función pueda ser utilizada para el desarrollo de diversas funciones y optimizaciones.

Figura 121
Visualización del proceso evolutivo de Galapagos.



Nota: La figura anterior muestra la visualización de *Galapagos* optimizando el Cluster en distintas etapas del proceso, hasta llegar a un conjunto de opciones óptimas para el desarrollo de actividades al interior. Elaboración propia.

Originalmente la Figura 121 fue elaborada como una secuencia de la simulación de *Galapagos* en Formato .GIF, esta puede ser consultada dentro del folder donde se encuentra el concentrado de nodos, imágenes, figuras y archivos relacionados con la presente investigación, dentro de la sección de apéndice se puede encontrar el acceso o accesos al folder en formato *Google Drive* con acceso a lector para el público en general, y editor con permiso previamente otorgado por el, los administradores de recursos. Por último, cabe mencionar que la función desarrollada, solo permite realizar la simulación con optimización de datos promediados de la retícula espacial, para poder realizar dicha simulación de manera inversa, se requeriría un equipo de cómputo de alta gama y un proceso de codificación en lenguaje C#.

4.7.4. GENOMAS OPTIMIZADOS

Los genomas optimizados son aquellos resultantes de un número n' de simulaciones internas dentro de las aplicaciones destinadas al diseño generativo, para el caso de *Galapagos*, este logro realizar distintas operaciones hasta llegar a una optimización específica de elementos, la programación interna de este permitió obtener 5 ejemplos de *Louver*, al final, se optó por el resultado que arrojó mejor sombra para el caso práctico de las 11:00 horas del 21 de septiembre. Los genomas se obtuvieron realizando una serie de *Bakes* individuales, estos resultados son guardados en esquema de *Layer*, por lo cual, se realizó una capa o *Layer* específica para tener los resultados obtenidos. Los genomas optimizados varían de manera mínima, ya que el *script* final solo logró identificar cambios mínimos en el *Louver* como se muestra en la Tabla 21.

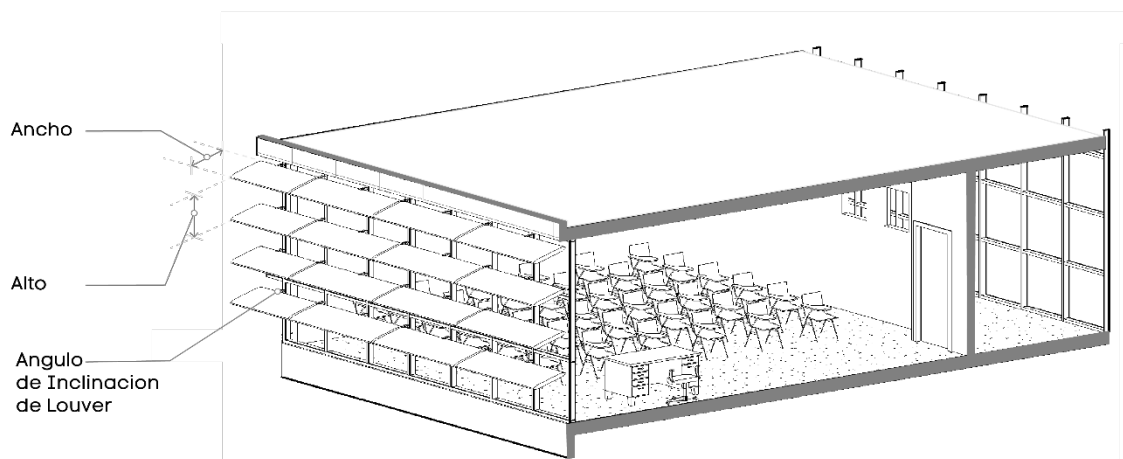
Tabla 21
Simulaciones realizadas para optimización de elementos.

Simulación	Corridas	Genomas promedio	Simulaciones por corrida
1	20	100	2000
2	15	50	750
3	15	45	675
4	19	50	950
5	20	50	1000

Nota: Los resultados mostrados dentro de la tabla, son promedios de los registros por cada simulación.

El resultado de la optimización de los genomas puede observarse en la Figura 122, la cual presenta la mejor opción basada en más de ~5000 iteraciones controladas por simulación, mediante las cuales, se fue filtrando de manera manual hasta llegar al resultado que optimiza la eficiencia, confort lumínico y visual, sin sacrificar estética, funcionalidad y vista. El modelo de *Louver* pertenece a un elemento de protección pasiva estática, la cual se orienta según las necesidades del inmueble, y se monta sobre la cancelería de la fachada, para el caso del edificio F, esta propuesta es la que más se adapta a las necesidades del inmueble.

Figura 122
Corte Isométrico de espacio de estudio, Aula F113, Nivel 01, Edificio F.



Nota: El corte muestra la configuración del *Louver* y los principales elementos que maneja el Cluster para el control del mismo.

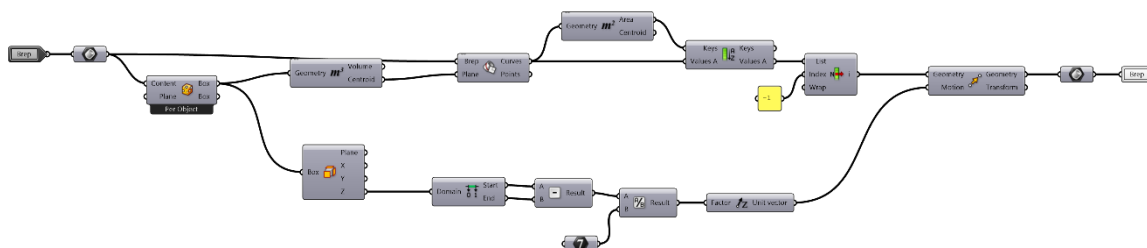
Por otro lado, para la optimización de genomas también se puede recurrir a otras aplicaciones de libre uso, tal es el caso de *Octopus*, esta trabaja bajo el mismo grado de elitismo que *Galapagos*, no obstante, requiere una activación adicional y la interfaz de lectura de genomas puede llegar a confundir al usuario no especializado, ya que puede funcionar en una representación bidimensional o tridimensional, según los requisitos y cantidad de iteraciones o resultados a obtener.

4.8. MATRIZ DE NODOS ESPACIALES ADAPTADOS AL PROYECTO.

Uno de los elementos de mayor relevancia dentro de esta investigación, fue la modificación nodos y funciones específicas dentro de *Grasshopper*, específicamente la elaboración de Nodos que permitieran obtener resultados específicos para este trabajo, dentro de estas modificaciones, se modificó la matriz para lectura de datos de iluminación que se localiza originalmente sobre la superficie de piso de aquellos espacios a simular.

La Figura 123 muestra el *clúster* que tiene como finalidad identificar el área a simular como un volumen tridimensional o *Brep*, a este se deberá seleccionar siempre su cara inferior, ya que *Grasshopper* puede otorgar un orden distinto según la compleja de la figura o la cantidad de número de lados. El proceso está basado en una realizar una selección de superficies, mediante esta, el producto siempre será aquella que esté debajo del centroide del volumen seleccionado, al tener una referencia negativa en Z, el producto final será un elemento bidimensional *Brep*, al cual se podrán realizar medicaciones como si fuese una superficie para generar una retícula en U y V.

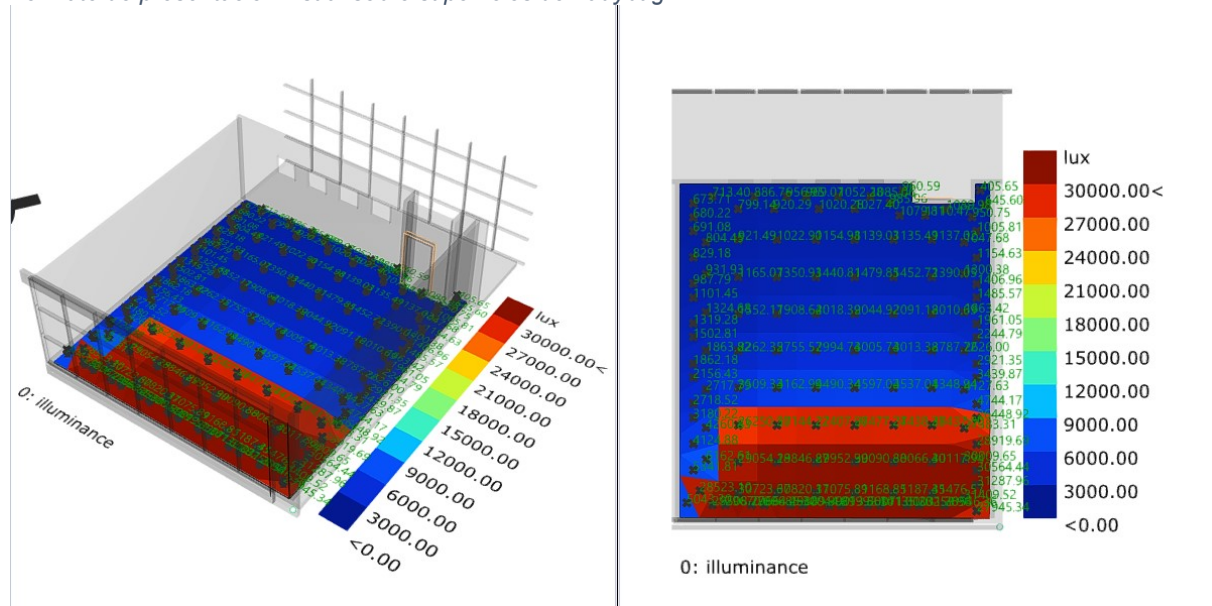
Figura 123
Script para selección de superficie inferior en Brep.



Nota: El algoritmo mostrado posteriormente se convertirá a clúster para facilitar los elementos de entrada y salida. Elaboración propia.

Originalmente, *Ladybug* la herramienta cuenta con un nodo para asignar los datos de las mediciones a una retícula espacial, como ejemplo dentro de la Figura 124, se puede observar una retícula no uniforme para obtener datos de simulación, el problema encontrado con este tipo de resultados se da al momento de exportar los datos a otras aplicaciones, el nodo para división de mallado en *Ladybug* asigna una medida general, la cual resulta uniforme en la mayoría de la superficie según los datos proporcionados por el usuario, no obstante, al momento de encontrar una superficie que no cumpla con las características de la medida solicitada, esta realiza triangulaciones dentro de las zonas que no correspondan a la medida solicitada de la retícula dentro de un espacio, lo cual provoca irregularidades al momento de generar los listados para identificar el *DA*, *sDA* o *UDI*. Por tal motivo se procedió a realizar una retícula espacial personalizada, la cual puede aplicarse a los estándares *WELL* o *LEED*, así como a de la NOM – 025 STPS—2008.

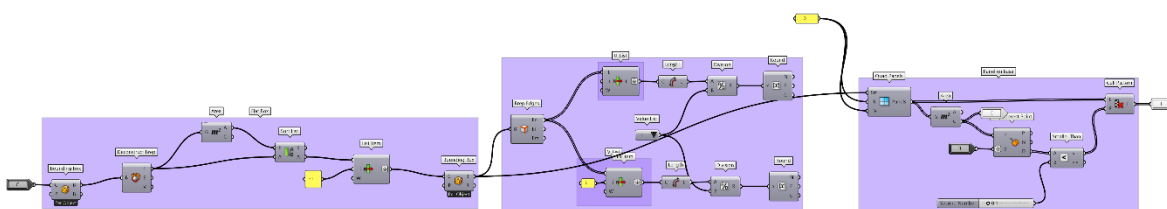
Figura 124
Formato de presentación visual sobre superficies de *Ladybug*



Nota: Formato basico de presentacion visual sobre superficies de *Ladybug* el cual corresponde a una malla irregular

Por ello, se procedió a realizar un complemento para el clúster de selección de superficie, el cual, permite realizar una división según los requisitos de la NOM-025-STPS-2008, esta funciona realizando una división de mallado que posteriormente requiere Ladybug para insertar los valores al centro de cada superficie producto de la división de U y V , permite obtener listados con una secuencia lógica la cual puede ser utilizada para exportar datos de manera sencilla para usuarios no especializados a un programa de para procesar datos en una hoja de cálculo tipo *Excel*, la Figura 125 muestra el funcionamiento del clúster para división de mallado en U y V , al cual, Ladybug podrá cargar la información requerida para cualquier tipo de simulación.

Figura 125
Script para división en U y V de superficie inferior en Brep.

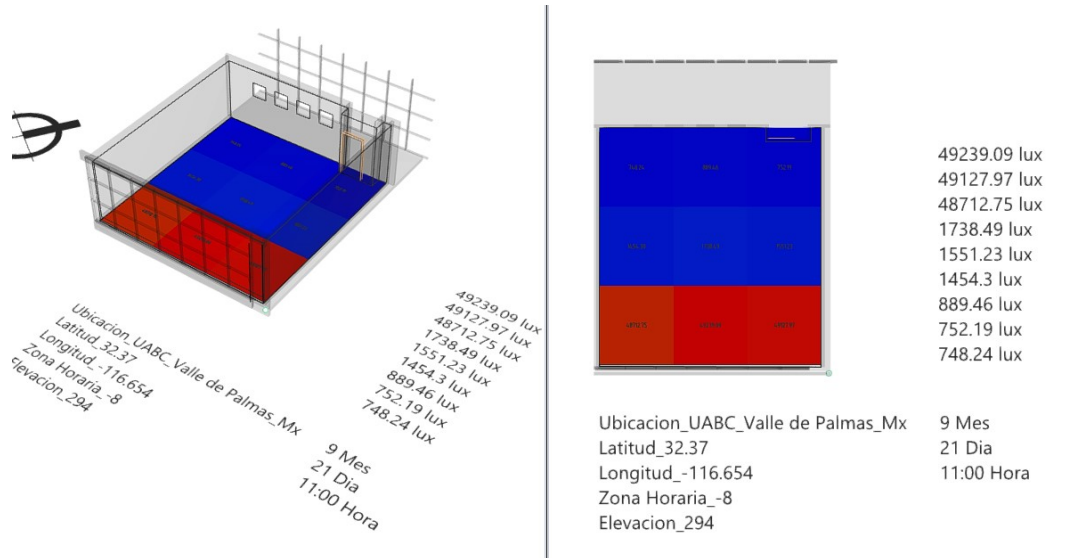


Nota: El algoritmo mostrado posteriormente se convertirá a clúster para facilitar los elementos de entrada y salida. Elaboración propia.

Para poder aplicar la información y generar los datos de iluminación en los espacios del Edificio F de la FCITEC, la NOM-025-STPS-2008 determina que es requerido una malla o matriz de 9 puntos de lectura, para ello se utilizaron los clúster personalizados de la Figura 123 y la Figura 125, estos permitieron realizar las modificaciones necesarias según los requisitos por espacio, otorgando una distribución uniforme dentro de la superficie, estos nodos fueron llamados, x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8 y x9, al ser los nodos x1, x4 y x7 aquellos más cercanos a la ventana orientada al sur, En la Figura 126 se observa la división del aula F113, a la izquierda muestra una vista isométrica del espacio y a la derecha la planta arquitectónica.

Figura 126

Vista axonométrica y de planta del espacio o aula donde se desarrollaron las simulaciones.

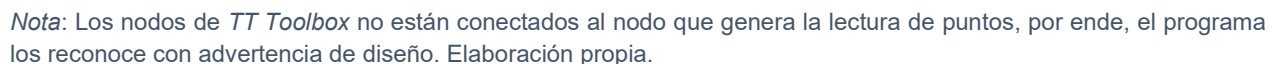


Nota: Por la cantidad de elementos en la superficie y los valores con máximos en los nodos cercanos a la ventana, no se puede apreciar el sistema de gradiente utilizado. Elaboración propia.

Dentro de las características del periodo de lectura, se encontró que este debía ser desarrollado con una mayor extensión de tiempo para poder entender y comprender el comportamiento lumínico en los espacios del Nivel 01, así pues, la simulación paso de ser de las 8:00 a 16:00 horas a tener un periodo de 12 horas, estas inician con la primera simulación a las 6:00 horas y terminando a las 18:00 horas del día 21 de septiembre, con ello poder simular todo aquel horario donde se pueda tener iluminación natural directa o difusa y poder cumplir con las indicaciones de la *USGBC LEED*.

Otro de los puntos importantes a mencionar, fue el desarrollo de las simulaciones virtuales, ya que estas se desarrollaron en dos partes. Las simulaciones iniciales fueron desarrolladas considerando solamente ventanas, vanos y el espacio en su forma original, esto sin considerar aquellos elementos que pudieran proporcionar una protección solar en la ventana sur, dentro de estas, también fueron consideradas las ventanas que dan al pasillo norte, las cuales proporcionan iluminación difusa por el espacio que corresponde al pasillo de circulación entre el muro con orientación norte y el muro cortina norte del inmueble, considerando todas las características para este tipo de cristal o ventana

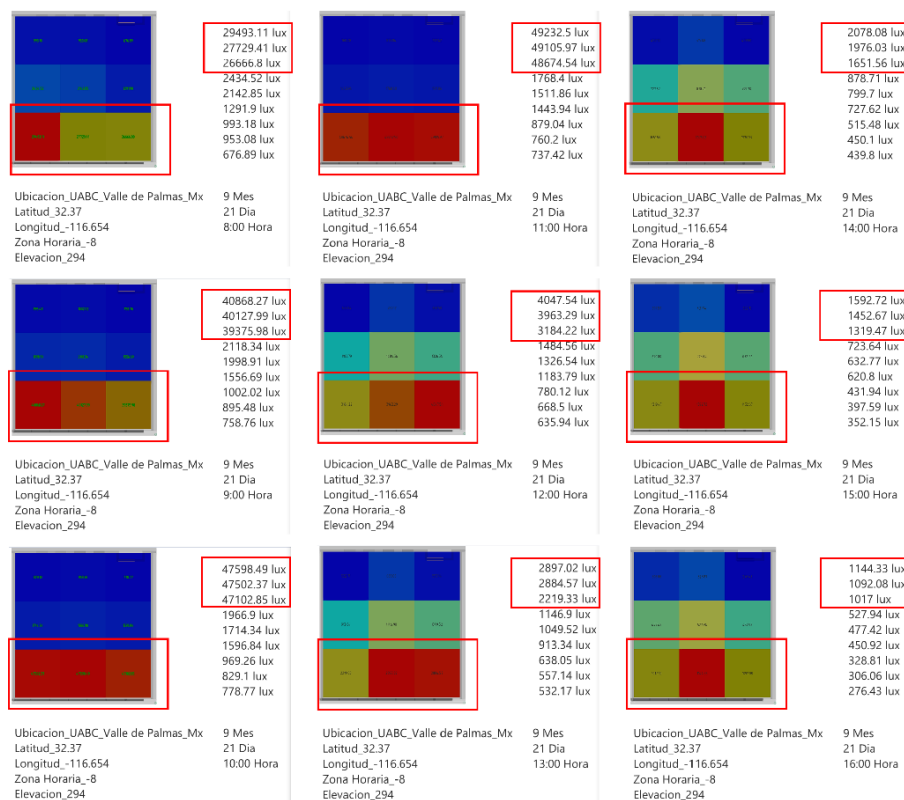
Figura 127
Script para exportar información de Grasshopper a Excel.



4.8.1. SIMULACIÓN SIN PROTECCIÓN EN VENTANAS.

Dentro de los distintos procesos que se llevaron a cabo, la parte principal es la representación visual como se muestra en la Figura 128, la cual está basada en un nodo de gradiente con 5 colores, y se realizaron diversas modificaciones para que los parámetros tuvieran una similitud con los colores que son implementados por parte de la aplicación de Ladybug, no obstante, lo importante de las modificaciones realizadas con apoyo de los nodos del mallado de piso en una división 3x3, es el obtener los datos específicos que pueden ser ordenados de manera descendente y cotejar con la imagen de la planta, por ser esta una de las ventajas directas de tener un control personalizado dentro de los distintos procesos de programación visual

Figura 128
Valores sin protección en ventana sur



Nota: Los datos mostrados en el recuadro sobrepasan los valores maximos para el desarrollo de actividades dentro de un espacio. Elaboracion propia.

La Tabla 22 muestra los resultados obtenidos de las distintas simulaciones sin protección en ventana. Estas corresponden a la lecturas simuladas en sitio o la planta arquitectónica, no obstante las variaciones entre las lecturas y las simulaciones son alrededor de un $\pm 5\%$, lo cual puede ser un resultado que podría considerarse normal, si se toman en cuenta distintos elementos que van relacionados a una aplicación que es actualizada periódicamente cuando se pueden verificar este tipo de errores, otra posible causa dentro de la variación entre las lecturas de las muestras y los resultados con la aplicación, puede ser la diferencia entre el punto de lectura en sitio y aquella considerada por el programa, no obstante, este tipo de fenómenos no son considerados en la simulación de programas especializados de paga, generando datos en los cuales el usuario debe confiar al momento de realizar simulaciones y efectuar la toma de decisiones para los diseños de espacios y/o envolventes arquitectónicos.

Tabla 22
Información en nodos en Aula sin protección

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
6_am	37.56	26.12	16.68	10.99	7.53	5.38	4.32	3.45	3.19
7_am	15646.90	16641.41	16382.53	15631.47	14715.43	13188.91	11214.37	871.60	723.17
8_am	29535.79	2414.00	967.90	27755.97	2128.86	957.52	26608.90	1272.58	675.01
9_am	40848.03	1987.38	901.16	40132.76	2147.66	1004.26	39294.41	1570.38	744.73
10_am	47506.89	1689.70	830.17	47600.99	1972.53	942.25	47169.60	1629.92	763.29
11_am	48773.22	1428.68	745.96	49192.51	1757.97	888.65	49127.72	1518.19	758.84
12_pm	3224.91	1187.83	643.42	4021.91	1488.97	774.01	4094.32	1323.38	668.88
1_pm	2158.79	911.77	543.74	2891.75	1134.74	640.03	2898.82	1055.41	554.29
2_pm	1620.66	722.42	447.93	2061.58	860.25	519.07	1958.71	809.08	445.02
3_pm	1331.00	619.83	389.50	1557.43	702.31	439.84	1477.15	631.23	361.83
4_pm	1012.72	492.17	320.44	1168.11	522.83	326.71	1071.13	455.30	280.47
5_pm	744.85	683.01	512.88	410.84	297.18	242.81	193.15	168.54	160.97
6_pm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

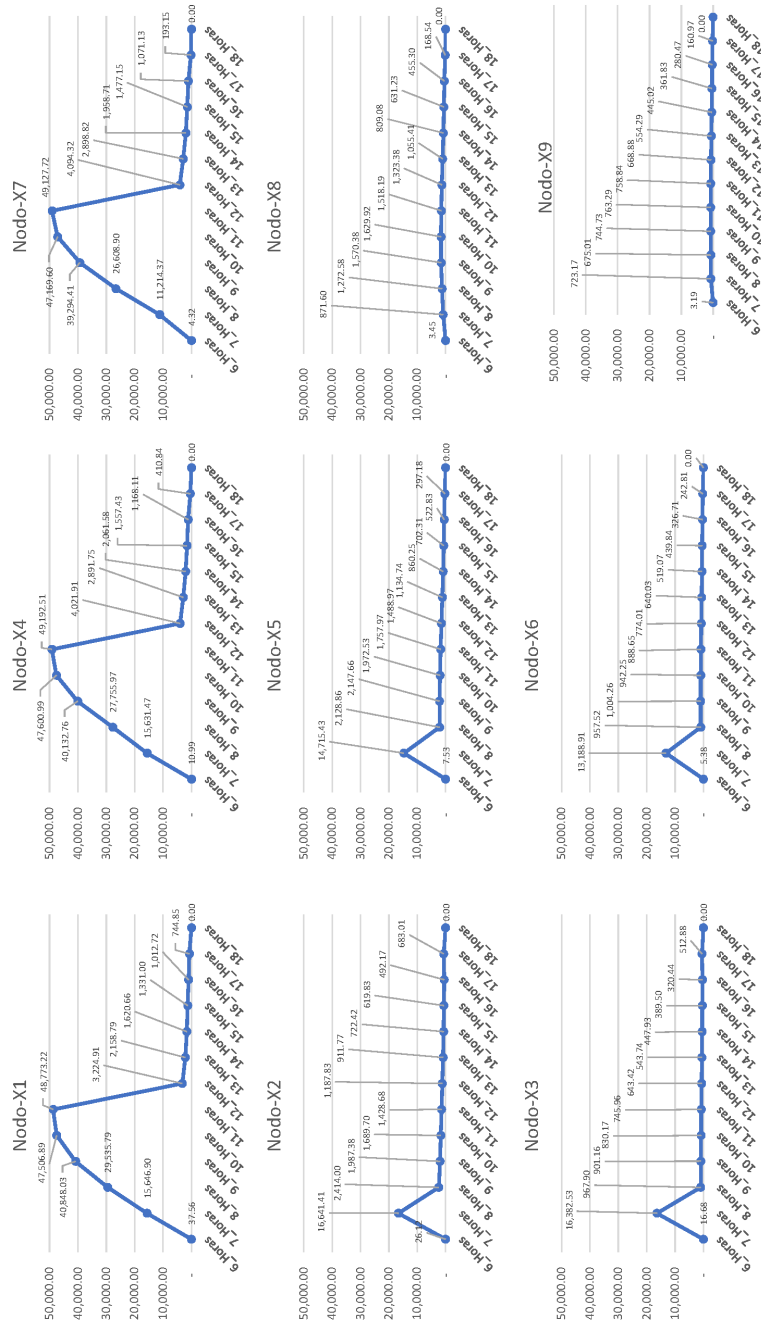
Nota: La tabla anterior muestra la recopilación de la información recopilada en nodos distribuidos espacialmente en Aula sin protección en ventana sur en un periodo de 12 horas, elaboración propia.

Por otro lado, encontramos que la información visualizada en gráficas muestra los picos de sobre exposición dentro de dicho espacio tal como se muestra en la Figura 129, dentro de esta, se aprecia que los nodos X1, X4 y X7, reciben de manera directa la iluminación, en el primer

tercio del espacio, lo cual provoca que a partir de las 7:00 horas, se tenga una lectura superior a los 10,000 lux, no obstante, después del mediodía, esta se regulariza al tener un rango $\pm 3,000$ lux.

Durante el horario de las 12:00 horas a las 16:00, aquellos espacios y mantener una autonomía solar con un rango dentro de los 1,500 lux en promedio durante esas 4 horas, posterior a este, se requiere el uso de iluminación artificial para mantener el mínimo de los 500 lux a 1000 lux para el desarrollo efectivo de las diversas actividades a desarrollarse en dichos espacios según la NOM-025-STPS-2008. No obstante, el formato de las ventanas sur puede traer como consecuencia factores asociados con transferencia y/o acumulación de calor, el cual también está relacionado en la zona que recibe directamente la iluminación durante la primera mitad del día, causando un incomodidad visual y sensorial a los usuarios de dichos espacios dentro del inmueble.

Figura 129
Gráfica de comportamiento de la iluminación directa.

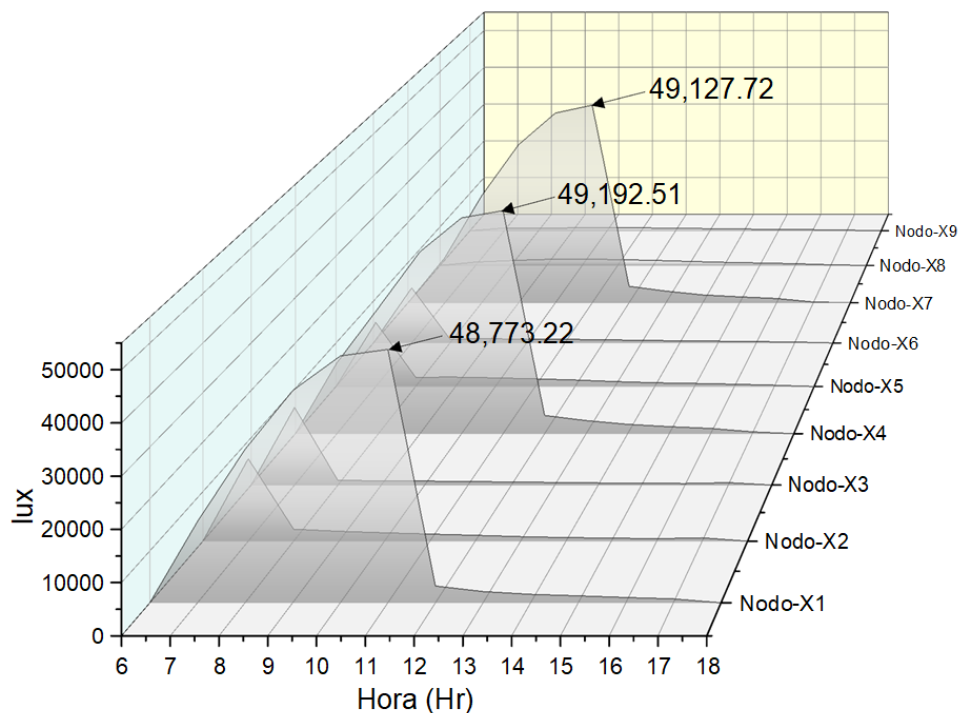


Nota: En las gráficas se pueden apreciar mediante un esquema sencillo de colores, aquellos que están en rangos según la NOM-025-STPS-2008 para el tipo de espacio y actividades a realizar. Elaboración propia.

La Figura 130 muestra todos los resultados de manera simultánea en un formato de cascada con un desplazamiento dentro de los ejes “x”, “y” y “z”, dentro de esta se pueden apreciar los diferentes nodos dentro del eje “Y” con la leyenda de Nodo y la asignación del número de nodo o ubicación dentro del espacio donde fue tomada la lectura, sobre el eje “X” se pueden observar las horas donde se tomaron o simularon las lecturas, estas inician desde las 06:00 horas y terminando a las 18:00 horas, por último, el desplazamiento en “Z” corresponde a la cantidad de lux sobre cada nodo o punto de lectura, dentro de la Figura 130 también se muestran los puntos con mayor lectura o crestas, las cuales ocurren a las 11:00 horas, al tener un impacto de hasta 49,000 lux, y una hora después bajando hasta un 92% de manera abrupta, no obstante, al seguir por encima del rango de los 500 a 1000 lux, sigue sobrepasando los límites permisibles de las reglamentaciones internacionales y nacionales.

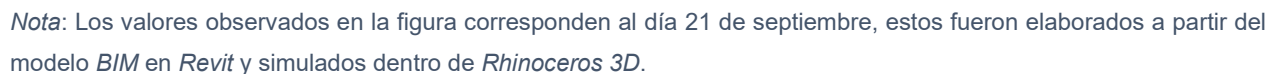
Figura 130

Representación visual de las lecturas de los nodos en aula sin protección.



Nota. La Figura 130 muestra e indica los picos de iluminación y la cantidad directa sobre los nodos X1, X4 y X7, esta es representación visual de las lecturas de los nodos en aula sin protección.

Figura 131
Valores sin protección de ventana en aulas



239

Tabla 23
Valores de DGP

DGP = Direct Glare Perception

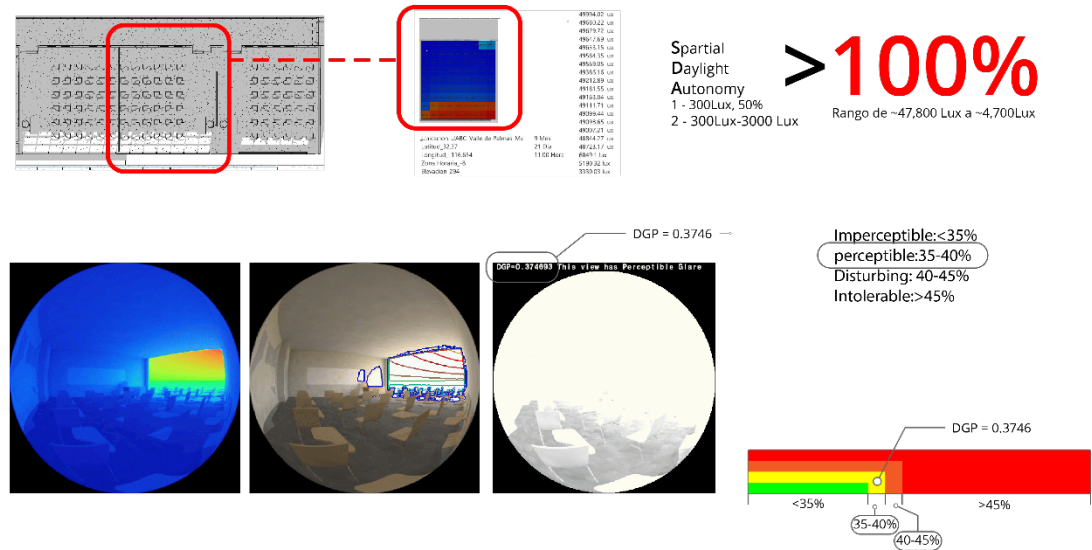
Imperceptible	< 35.00%
Perceptible	34.00 – 40.00%
Disturbing	40.00 – 45.00%
Intolerable	>45.00%

Nota: Los conceptos se mantienen en su idioma original, así se corroboran de manera sencilla con los valores de DGP estipulados en la imagen de ojo de pez.

Dentro de la Figura 132 encontramos los resultados de iluminación, así como de *Glare* dentro del aula a las 11:00 horas del día 21 de septiembre la tercera imagen de ojo de pez, muestra de manera general la percepción espacial, la cual está muy por encima para realizar las funciones y actividades de manera normal dentro del aula de trabajo, por lo tanto, se aplican elementos que obstruyen la iluminación natural, provocando que los usuarios utilicen iluminación artificial para compensar la falta de la misma.

Figura 132

Valores de Glare sin protección en ventana.



Nota: La figura muestra el interior del salón, ambas imágenes corresponden al 21 de septiembre a las 11:00 horas, a la izquierda se tienen los resultados sin protección de ventana y a la derecha con protección de ventana.

5. CAPÍTULO V. RESULTADOS.

“One of the problems of climate change or climate action is that the realm of scientists is mostly academic, they’re very good at science and academic accuracy, but not so much on entrepreneurship and action.”

(ColumbiaGSAPP, 2020)

Bjarke Ingles, 04/24/2020

Dentro de este capítulo, se desglosa el desarrollo de los datos obtenidos dentro de distintas simulaciones, entre estas, las desarrolladas con *Galapagos* buscando un diseño generativo mono objetivo, previo a la realización de este tipo de simulaciones, se prepararon los elementos de simulación para obtener datos específicos según los requisitos de la NOM – 025 STPS—2008, la *ASHRAE 209-2018* y la *AIA 2030*, tomando en cuenta solo aquellos elementos de simulación y datos para luz natural en espacios relacionados a elaboración de actividades manuales, estudio o lecturas, las cuales se encuentran entre los rangos de 300 lux a 500 lux como promedio y hasta 1000 lux en espacios para actividades específicas y especializadas.

Como se señala, las primeras simulaciones de la investigación, se elaboraron sin protección en ventana, las condiciones de simulación consideraron desde las 08:00 horas del día 21 de septiembre, no obstante, se pudo observar que, al momento de realizar las gráficas, estas iniciaban con índices muy elevados, por tal motivo, se realizaron las simulaciones desde las 06:00 horas del día en cuestión, para procesos del equipo de cómputo, a su vez, se requirió un archivo *.epw*, el cual fue interpolado con las estaciones meteorológicas mencionadas en la Tabla 10, dando como resultado un archivo con las condiciones y características similares a Valle de las Palmas. El programa para realizar las simulaciones fue *Rhinoceros 3D 7.0* y dentro de este, se implementó el uso de la aplicación *Grasshopper 0.9*, de la cual, se hizo uso su extensión de *Ladybug* en su versión 0.69 y *Honeybee* 0.68.

Los procesos de simulación tuvieron distintas variaciones para obtener los valores en la matriz de piso personalizada, posteriormente, cada resultado fue exportado de manera directa desde *Grasshopper* al programa de Microsoft Excel, mediante el uso e implementación de los nodos de exportación de la extensión *TT Toolbox* como aparece en la Figura 127, esto con el objetivo de realizar gráficas dentro de la presente simulación.

5.1.RESULTADOS

El presente trabajo tuvo como objeto de estudio el análisis del impacto de la iluminación directa sobre la superficies de trabajo en aulas educativas con cuestiones precarias para el desarrollo de actividades al interior de los espacios de trabajo, y hacer uso de nuevas métricas de iluminación espacial, que en conjunto con la aplicación de envolventes arquitectónicos pasivos, diseñados a través de diseño generativo bajo un enfoque cuantitativo, se mejoraron los criterios de iluminación natural dentro de las aulas de estudio, se obtiene un valor *sDA*, *UDI* y *ASE* acorde a los criterios de la NOM-025-SPTS-2008, la *AIA* y la *ASHRAE*.

Con relevancia a los procesos de diseño, investigación, mejora de espacios donde se realizan actividades específicas y mantener una constante de iluminación directa o difusa, ya sea por medios naturales como vanos, tragaluces, mamparas reflectantes, una combinación de elementos de protección pasiva que permitan iluminación natural difusa dentro de un espacio, o una combinación de iluminación natural y artificial, por lo anterior, la implementación de algoritmos apoyados en diseño generativo permiten obtener un amplio espectro de posibilidades respecto a la formas y estilos, lo cual contrasta con las opciones que convencionalmente cuenta un diseñador dentro de cada etapa del diseño.

La importancia de la implementación de la metodología *BIM* dentro del diseño de autonomía lumínica o diseño lumínico ambiental, hoy en día, se basa en distintos estándares y criterios de diseño respaldados por instituciones de estándar internacional, tal como *LEED*, *WELL*, *ASHRAE*, *IBPSA* o distintas NOM's del Gobierno Mexicano, como se mencionó anteriormente, la Figura 133 muestra que como producto final de esta investigación podemos obtener modelos que nos ayudan a visualizar la modificación de vanos y ventanas para iluminación natural y/o difusa, obtener una visualización de elementos gráficos, propuestas de protección pasivas o de ser necesario, realizar la modificación en muros y materiales envolventes.

5.1.1. SIMULACIÓN CON PROTECCIÓN PASIVAS FIJA EN VENTANAS.

Para la simulación de elementos con protección pasivos fijos en ventanas, se procedió a la elaboración de un Nodo personalizado (Ver la Figura 117), este nodo está conformado mediante diferentes elementos interconectados entre sí, los cuales se convierten en un clúster el cual está basado en la metodología aplicada por Lee et al. (2021), para el funcionamiento de este, se requiere de una conexión a una curva alineada a la fachada, para ello se recomienda que esta curva se dibuja del alto de la ventana a proteger.

Dentro de los distintos datos que se requieren, está la de proporcionar la cantidad de elementos de protección pasivos fijos o *Louvers* sobre la fachada, separación de la ventana al elementos de protección pasivo fijo, ángulo de inclinación, alto, ancho y largo del elementos de protección pasivo fijo como se muestra en la Figura 117, a su vez, el nodo está basado en la metodología planteada por D. Lee et al. (2021), la cual se basa en la siguiente ecuación:

$$\alpha_i = (i - 1) \left\{ \frac{(\alpha_{max} - \alpha_{min})}{(n - 1)} \right\} + \alpha_{min}$$

Donde:

n= número de elementos fijos

i = estado de desplazamiento del objeto

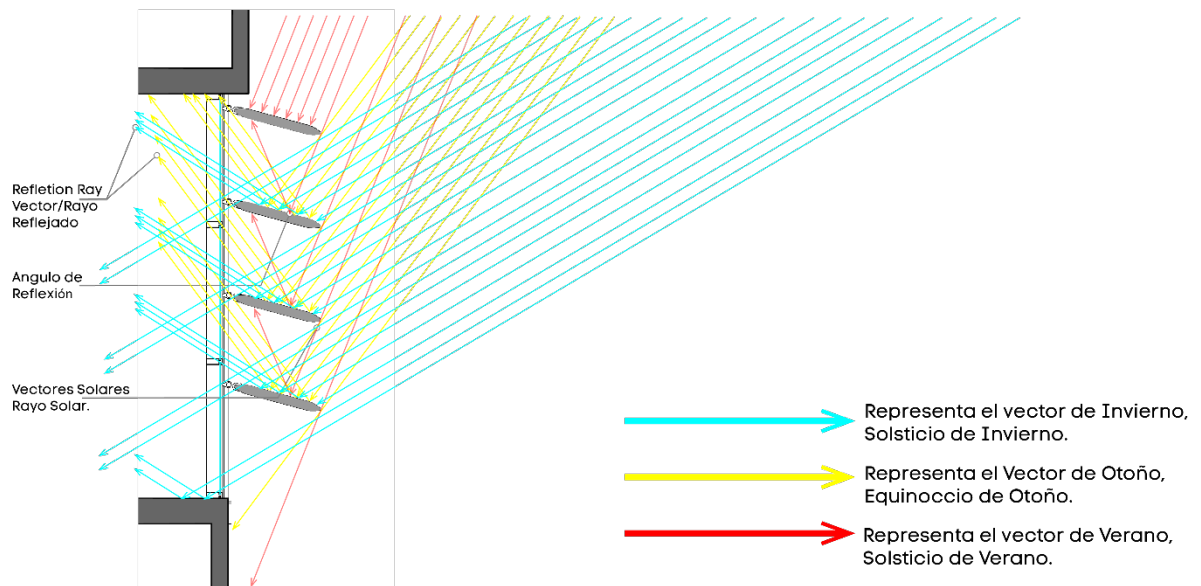
α_i = Ángulo o inclinación del elemento.

Esto aunado a la implementación de dispositivos pasivos que proporcionen sombra al interior de un espacio, está a su vez, está relacionada con el ángulo de inclinación que se tiene a las 11:00 horas del día 21 de septiembre, el cual se obtiene del archivo climático interpolado. En la Figura 133 se puede observar los vectores solares correspondientes a 3 de las 4 temporadas, considerando que Primavera – Otoño comparten un ángulo similar de inclinación, dentro de la figura se puede apreciar la intervención del *Louver* y el rayo reflejado, los vectores correspondientes a Verano quedan dentro del mismo rango de la protección pasiva, aquellos de

Primavera – Otoño, tienden a reflejarse en plafón y solo una pequeña porción de los vectores que corresponde a invierno, logran pasar directamente a la superficie sin causar mayor conflicto.

Figura 133

Visualización de Vectores solares en protección pasiva.

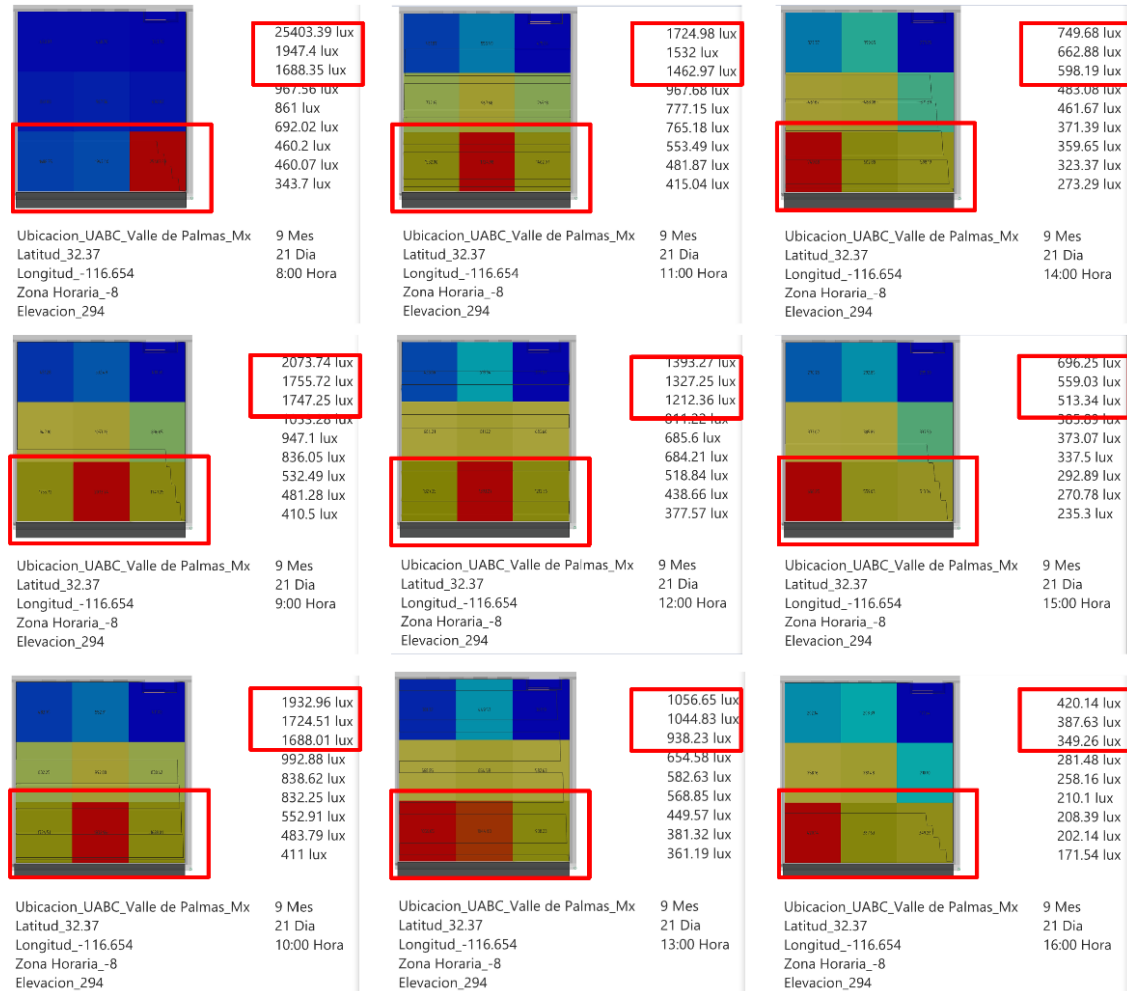


Nota: Los ángulos fueron insertados de manera manual según los valores de (Marsh, 2020). Elaboración propia.

La Figura 134, muestra mediante un recuadro el comportamiento de las lecturas implementando los elementos de protección pasivos fijos en la fachada sur y la sombra que esta arroja sobre el aula muestra, se obtiene una mejora de hasta un 95% en las lecturas de iluminación directa sobre los nodos, los horarios de las 8:00 horas a las 12:00 horas disminuyeron la incidencia directa, al tener iluminación difusa, el resto del día queda con las condiciones óptimas de *sDA* 300 a 1000 lux.

Figura 134

Lecturas con elementos de protección pasiva al sur.



Nota: La figura muestra las lecturas señaladas en el recuadro rojo que corresponden a los Nodos X1, X4 y X7, estas se pueden apreciar tanto en planta como en el listado.

Dentro de la Tabla 24, se muestran aquellos resultados obtenidos de las distintas simulaciones, las lecturas están desarrolladas implementando la protección de los elementos pasivos de protección en ventana de la fachada sur. A su vez, las simulaciones muestran una optimización de hasta un 95% en los puntos de lectura principales cercanos a la ventana sur, esto con referencia a las lecturas obtenidas in situ y en las simulaciones previas, mostradas dentro de la Tabla 22.

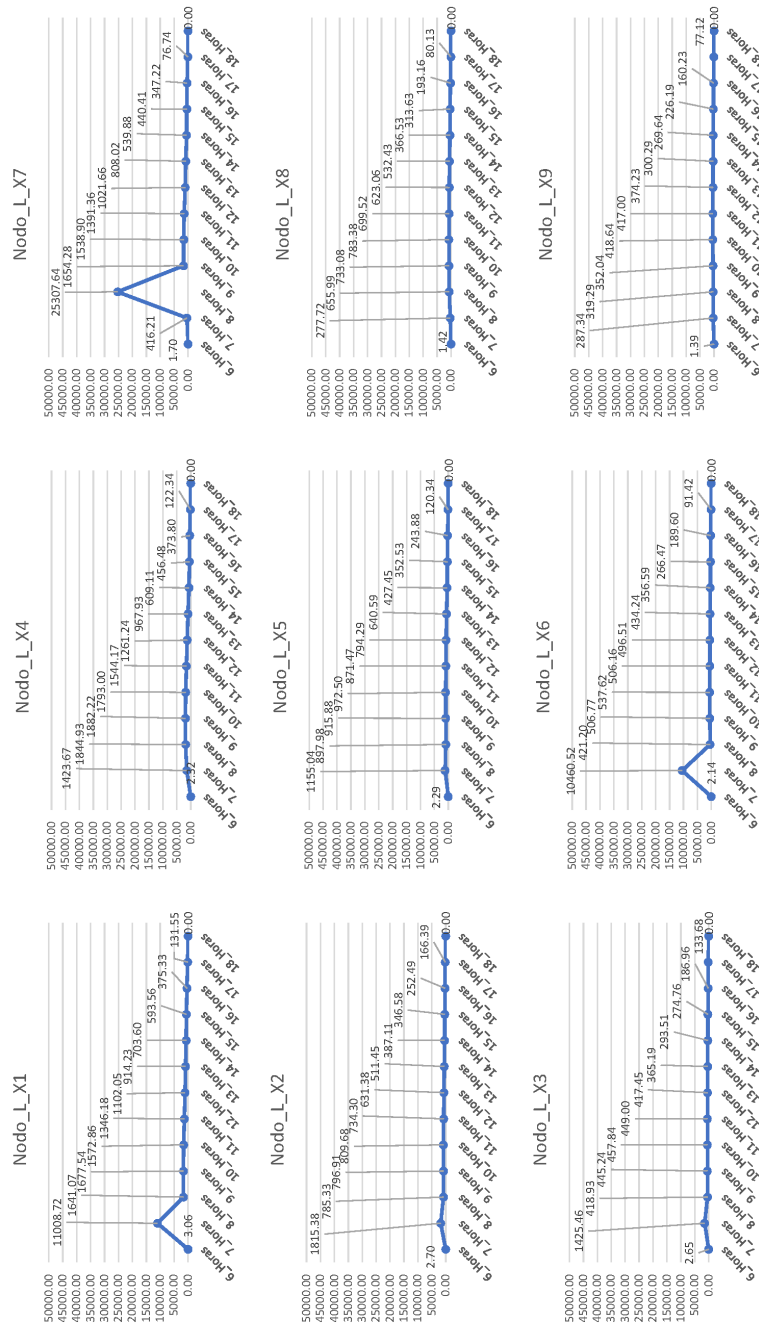
Tabla 24
Información en nodos en Aula con protección

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
6_am	3.06	2.70	2.65	2.32	2.29	2.14	1.70	1.42	1.39
7_am	11008.72	1815.38	1425.46	1423.67	1155.04	10460.52	416.21	277.72	287.34
8_am	1641.07	785.33	418.93	1844.93	897.98	421.20	25307.64	655.99	319.29
9_am	1677.54	796.91	445.24	1882.22	915.88	506.77	1654.28	733.08	352.04
10_am	1572.86	809.68	457.84	1793.00	972.50	537.62	1538.90	783.38	418.64
11_am	1346.18	734.30	449.00	1544.17	871.47	506.16	1391.36	699.52	417.00
12_pm	1102.05	631.38	417.45	1261.24	794.29	496.51	1021.66	623.06	374.23
1_pm	914.23	511.45	365.19	967.93	640.59	434.24	808.02	532.43	300.29
2_pm	703.60	387.11	293.51	609.11	427.45	356.59	539.88	366.53	269.64
3_pm	593.56	346.58	274.76	456.48	352.53	266.47	440.41	313.63	226.19
4_pm	375.33	252.49	186.96	373.80	243.88	189.60	347.22	193.16	160.23
5_pm	131.55	166.39	133.68	122.34	120.34	91.42	76.74	80.13	77.12
6_pm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: La tabla muestra la recopilación de la información recopilada en nodos distribuidos espacialmente en Aula sin protección en ventana sur en un periodo de 12 horas, elaboración propia.

La información visualizada en la Figura 135 muestra solamente 3 picos con lecturas anormales o por ubicación del sensor virtual, dichos picos de sobre exposición dentro de dicho espacio, dentro de esta, se aprecia que los nodos X1, X4 y X7, reciben de manera directa la iluminación, en el primer tercio del espacio, lo cual provoca que a partir de las 7:00 horas, se tenga una lectura no mayor a los 2,000 lux, salvo 3 lecturas irregulares obtenidas en el horario de las 7:00 y 8:00 horas, no obstante, después del mediodía, esta se regulariza al tener un rango $\leq$ 1,000 lux.

Figura 135
 Grafica con lectura de nodos implementando la protección pasiva en fachada sur.

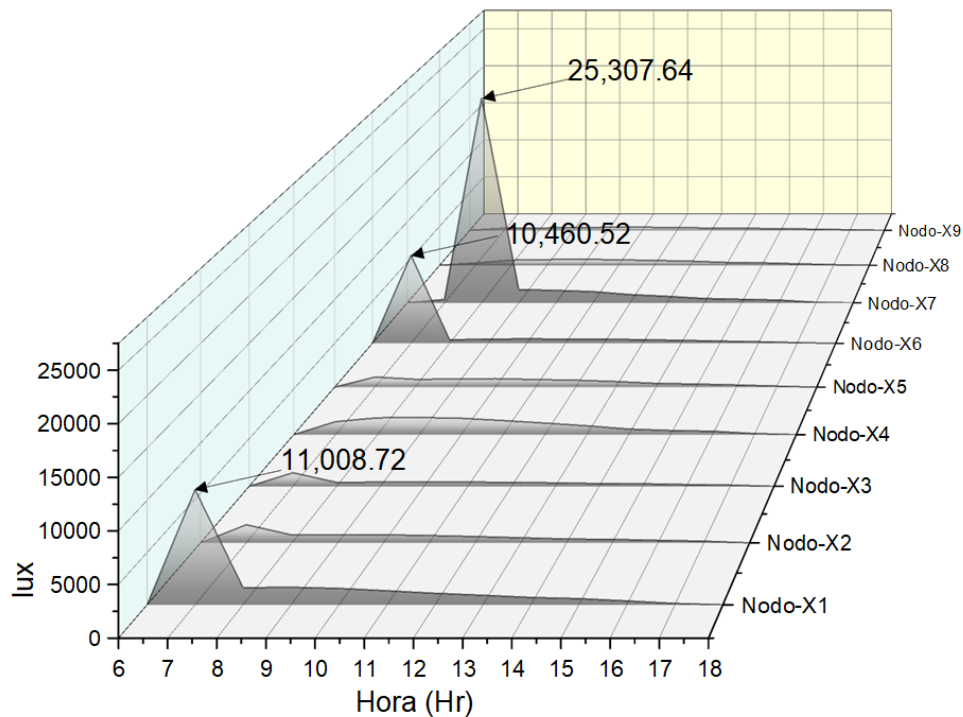


Nota: En las gráficas se pueden apreciar mediante un esquema sencillo de colores, aquellos que están en rangos según la NOM-025-STPS-2008 para el tipo de espacio y actividades a realizar. Elaboración propia.

Durante el horario de las 12:00 horas a las 16:00, el espacio por sí solo mantiene una autonomía solar con un rango dentro de los 575 lux en promedio durante esas 4 horas, posterior a este horario, será necesaria la implementación de iluminación artificial para satisfacer las necesidades de iluminación para el desarrollo de actividades, sin embargo, muchas de las clases impartidas dentro de este edificio terminan a las 18:00 horas, por tal motivo, resulta una opción viable el sistema obtenido. Dentro de la Figura 136 se pueden apreciar 3 lecturas irregulares, estas son ocasionadas por una lectura de vector incidente en el punto de lectura del piso.

Figura 136

Lecturas de los implementando la protección pasiva en fachada sur.



Nota. Dentro de la figura anterior se pueden apreciar 3 lecturas irregulares, estas son ocasionadas por una lectura de vector incidente en el punto de lectura del piso.

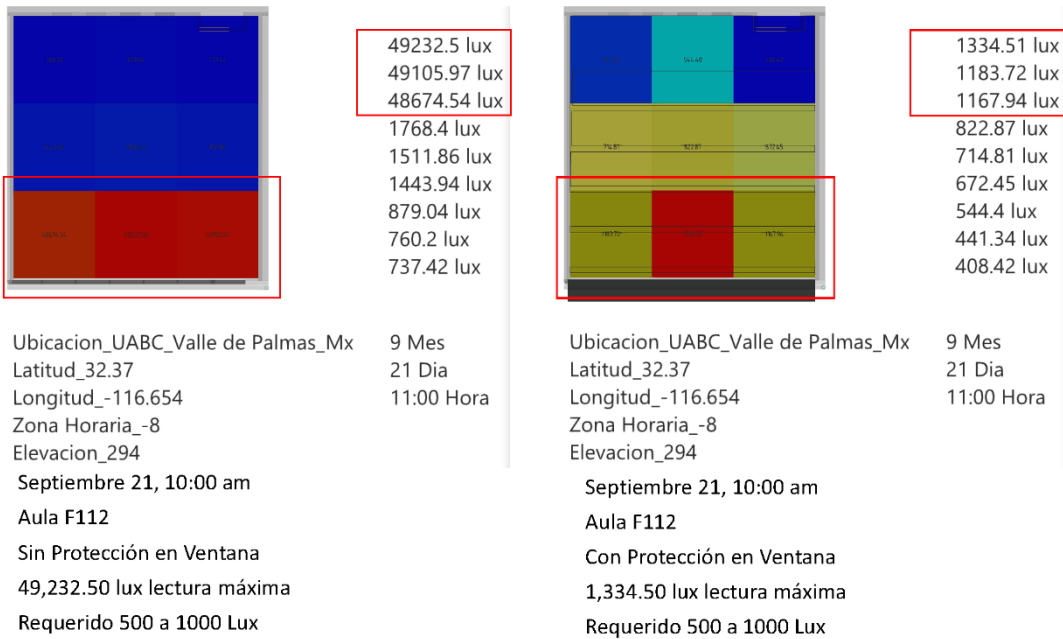
Durante el horario de las 12:00 horas a las 16:00 horas, el espacio en el cual se realizaron las simulaciones, mantiene una autonomía solar con un rango dentro de los 575 lux en promedio durante esas 4 horas, posterior a este horario, los resultados indican que será necesaria la implementación de iluminación artificial para satisfacer las necesidades de iluminación para el

desarrollo de las distintas actividades tal como se indica en la NOM-025-STPS-2008, sin embargo, muchas de las clases impartidas dentro de este edificio terminan a las 18:00 horas, por tal motivo, resulta una opción viable el sistema de protección pasiva fija en ventanas con las características resultantes de la simulación proveniente del algoritmo.

5.1.2. COMPARATIVO DE DATOS.

Si bien, los datos pueden tener una comparativa de manera textual, una de las mejores interpretaciones es mediante una serie de gráficas donde se pueda observar las variables utilizando colores para distinguir valores mínimos o máximos, la Figura 137 muestra el cómo impacta tener una protección en la fachada, la imagen de la izquierda muestra que sobre los nodos cercanos a la ventana se tiene una exposición superior a los 48,000 lux, al ser esto un 9,600% superior a un rango ideal que puede rondar en los 500 lux, o bien, tener una protección pasiva pensando en este periodo específico, el cual puede reducir hasta un 95% la iluminación directa, provocando un confort visual en rangos normales dentro del espacio en específico.

Figura 137
Espacio con protección en fachada sur.



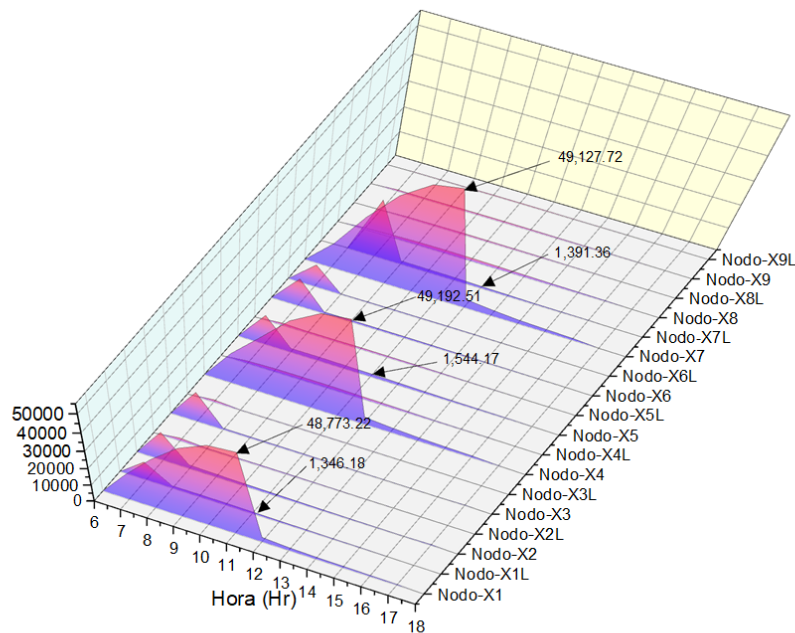
Nota: La figura anterior nos muestra el comparativo de lecturas dentro de un mismo espacio, a la izquierda, espacio sin protección, a la derecha, espacio con protección en fachada sur al tener una reducción de hasta un 95%.

La Figura 138 muestra de manera simultánea los resultados de ambas simulaciones, mediante esta se puede tener un ejemplo claro y poder realizar una comparativa de los distintos

valores obtenidos en los nodos con y sin protección, algunos de estos pueden captar mayor iluminación al inicio de la simulación por el ángulo de penetración de los rayos solares, al ser estos dentro del horario de las 7:00 horas. Los nodos donde el espacio está expuesto directamente a la ventana, están identificados como Nodo X1 a X9, aquellos con protección en ventana tienen una nomenclatura similar, y obtener una variación en la letra final, estos los Nodos X1L a X9L, al tener los valores en cascada de manera comparativa de los nodos en la misma posición, se puede observar los valores de manera simultánea, aquellos correspondientes a los Nodos X1, X4 y X7 en relación a X1L, X4L y X7L.

Figura 138

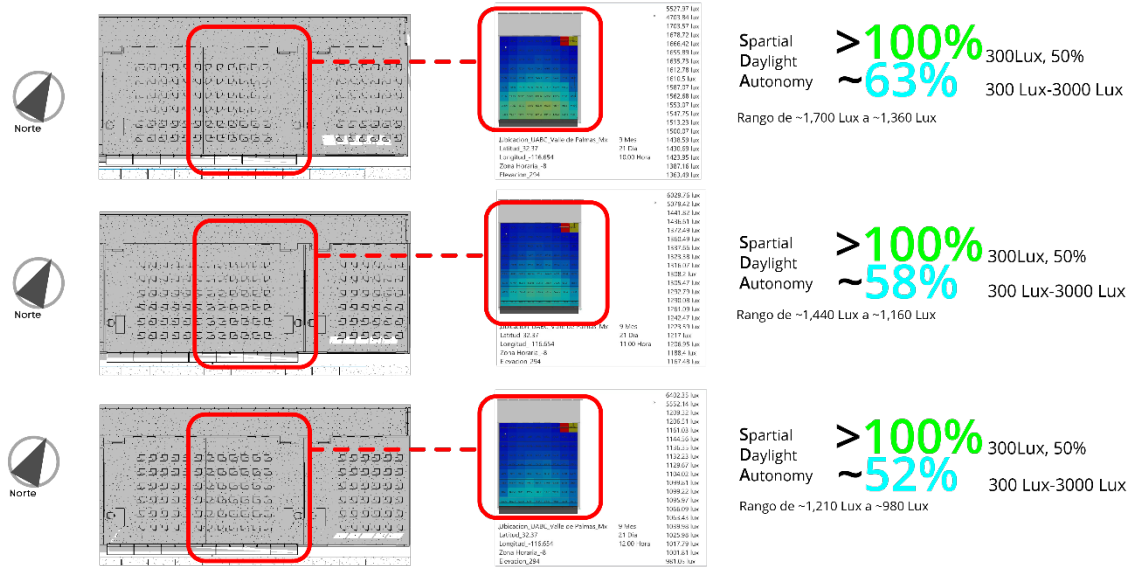
Comparativa de valores en relacion a espacio sin protección y con proteccion de ventana.



Nota: La presente grafica muestra de manera directa que las protecciones en ventana pueden mejorar hasta en un 90% a 95% el impacto de la cantidad de lux sobre los espacios de trabajo.

La Figura 139 de una manera gráfica, una comparativa entre la implementación de los dispositivos de protección pasiva vistos en planta con sombras al interior de la planta, gradiente en colores y los porcentajes para *LEED* como ejemplo que se ha venido manejando a lo largo de las otras comparativas.

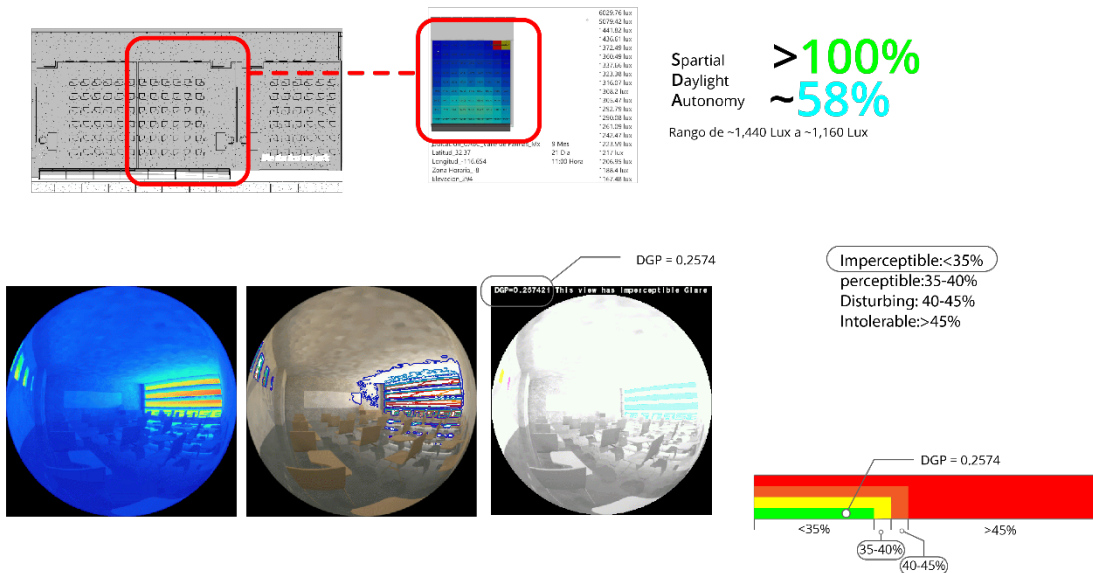
Figura 139
Valores con protección de ventana en aulas



Nota: Los valores observados en la figura corresponden al día 21 de septiembre, estos fueron elaborados a partir del modelo *BIM* en Revit y simulados dentro de Rhinoceros 3D .

Otro de los aspectos importantes al momento de aplicar la protección en la ventana sur mediante elementos de protección pasivos fijos, es el control en el *Glare* o deslumbramiento interno en los espacios, Figura 140 muestra los valores arrojados por la simulación al interior del espacio en distintas imágenes a modo de *fish-eye* o también conocido como ojo de pez, la figura muestra dos secuencias de las cuales se pueden apreciar formatos diferentes para presentar los resultados.

Valores de Glare con protección en ventana.



Nota: La figura muestra el interior del salón, ambas imágenes corresponden al 21 de septiembre a las 11:00 horas, a la izquierda se tienen los resultados sin protección de ventana y a la derecha con protección de ventana.

La primer secuencia arroja un valor de 0.374, este valor hace perceptible el deslumbramiento o *Glare* dentro del espacio y en las superficies de trabajo donde se tiene una exposición directa a la luz solar, por otro lado, al implementar una protección en la ventana, esta baja a 0.257, este un valor imperceptible según los resultados de la simulación desarrollada, la secuencia a la derecha muestra como la iluminación directa se convierte en laminación difusa la cual es esparcida por el área que corresponde a la parte inferior de la losa de entepiso, esto a raíz de que el espacio carece de plafón.

Figura 141
Comparativos digitales con y sin protección de ventana

Comparativos digitales



Sin protección en ventanas 10:00 am



Con protección en ventanas 10:00 am



Sin protección en ventanas 11:00 am



Con protección en ventanas 11:00 am

Nota: Se puede apreciar en las imágenes dentro de la figura, los beneficios al implementar elementos de protección pasiva en formato horizontal/

No obstante, la implementación de elementos de protección pasivo cumplen con las siguientes funciones reducción de *Glare* es de un 68% en las distintas áreas de trabajo, además de servir como difusor tal como lo muestran las imágenes en la esquina inferior izquierda de la Figura 140, la imagen sin protección en la ventana muestra cómo se refleja de manera directa dentro del espacio y este tiene un impacto dentro del pizarrón blanco y muro este, a diferencia de la imagen a la derecha, donde se puede observar que la luz es diferida hacia la sección de la losa de entrepiso o plafón.

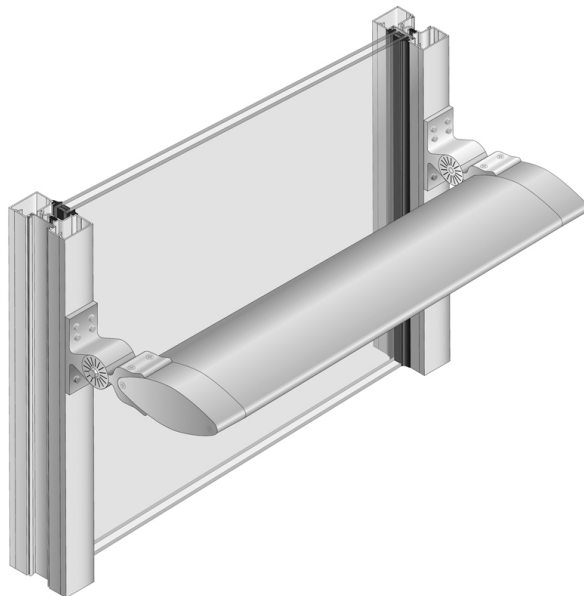
5.1.3. INTEROPERABILIDAD DE DATOS.

Dentro de este apartado con referencia a la exportación de datos, puede ser representada de dos categorías, la primera, aquella que está relacionada directamente con el modelo tridimensional, ese el cambio directo con una familia que pueda ser intercambiada con el modelo tridimensional referenciado como protección solar producido dentro de *Rhinoceros 3D*, por otro lado, aquella que esté relacionada con la representación gráfica dentro de una planta o corte, según sea requerido dentro de los esquemas en la plataforma de *Revit Architecture*.

Por otro lado, dentro de las condicionantes requeridas para poder representar un modelo tridimensional implementando un esquema de interoperabilidad de una plataforma a otra, se deberá tener una referencia clara y un modelo específico proporcionado por un proveedor de materiales especializados, esto considerando que se implementaran los materiales *As Is - As Design*. Para el caso específico de los modelos utilizados para las protecciones pasivas utilizadas para este trabajo de investigación, se utilizaron las familias de la compañía *Kawneer*, dentro de la categoría de *Sun Shade – Single Blade System* como lo muestra la Figura 142, este sistema de familias y/o modelo, cuenta con la parametrización necesaria de elementos para integrarse en la cancelería del modelo original dentro del *curtin wall model* de *Revit Architecture*

Figura 142

Ejemplo de familia utilizada dentro del proyecto desarrollado para esta investigación.

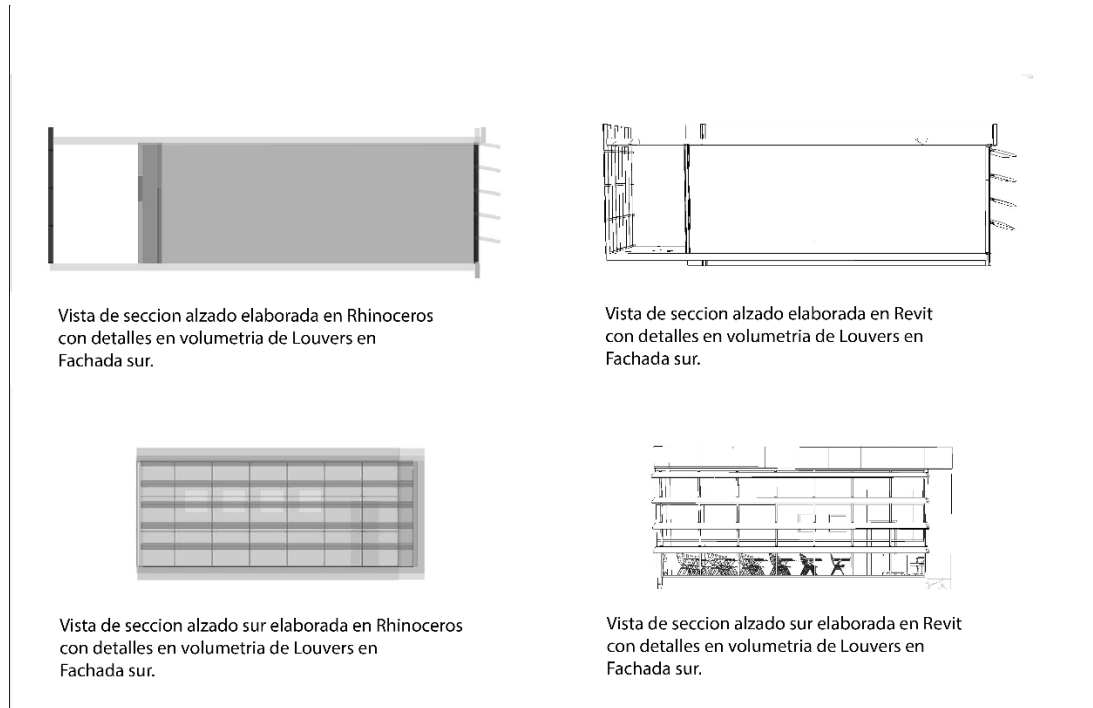


Nota: Imagen y familias de Revit fueron recuperadas desde:

https://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/product.asp?cat_id=1344&prod_id=4314&desc=storefront-sytems-single-blade-sun-shades el 30 de octubre de 2021.

Para el caso específico de las protecciones pasivas, utilizadas para las simulaciones realizadas dentro de este trabajo de investigación, la Figura 143 nos muestra como ejemplo, una visualización entre ambos programas utilizados, estos dentro de un formato bidimensional e incorporados como elementos arquitectónicos para tener la posibilidad de ser leídos dentro de cualquier tipo de plataforma distinta a la que se puede utilizar de manera profesional o de investigación, a la derecha de la figura, se aprecian una sección transversal y alzado sur del edificio en la planta 1, para este ejemplo se utilizó un Cut Out del proyecto en Revit Architecture, estas secciones del proyecto que involucran el área de estudio dentro de la primera planta, a su vez, se logra visualizar el Louver con las características recuperadas de la volumetría de Rhinoceros, a la izquierda de la figura, se puede observar la visualización de dichos espacios en un formato traslúcido, de esta manera, pueden visualizarse espacios o elementos en un entorno de trabajo simplificado para facilitar la visualización de elementos..

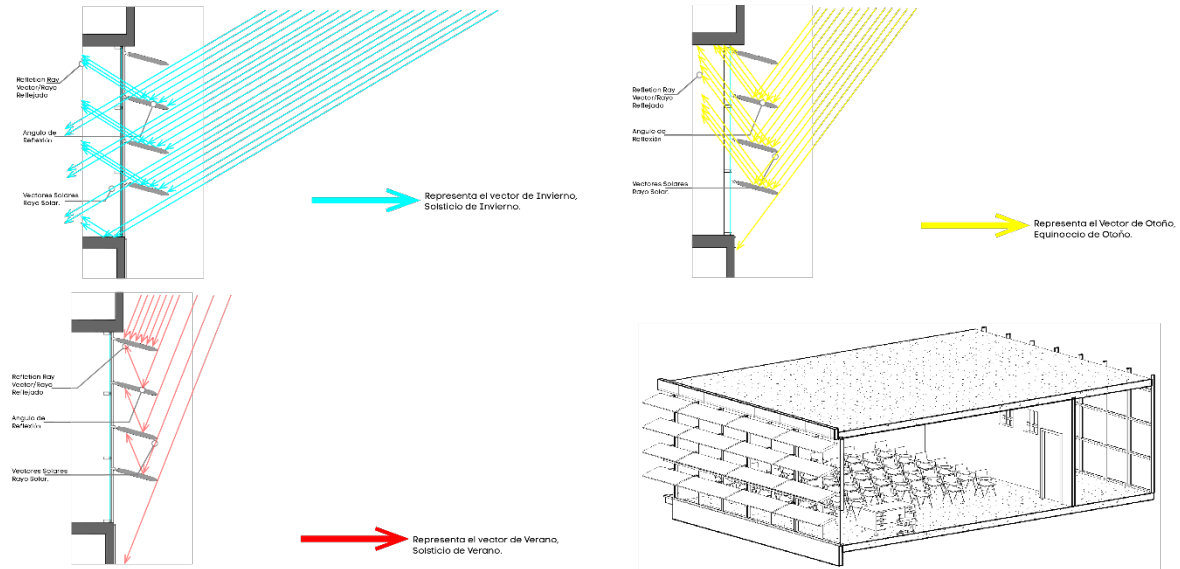
Figura 143
Comparativo de visualización entre ambos programas 01.



Nota: La figura muestra los distintos niveles de visualización, Rhinoceros 3D se manejó en transparencias y Revit en sólido.

Una vez referidos los elementos a ser implementados, en este caso, aquellos de protección pasiva sobre las ventanas en la fachada sur, se pueden generar visualizaciones tipo fotografía o elementos que permitan expresar de manera puntual, estos archivos tipo *.png* o *.jpg* que pueda ser exportados a programas para procesar vectores o mapas de bits, en los cuales se pueda agregar simbología adicional que enriquezca los formatos de presentación y visualización, la Figura 144 muestra la implementación de líneas o vectores adicionales procesados en el programa de *Adobe Illustrator*, en el cual se agregó de manera adicional, mostrando una simplificación de los vectores solares y como estos indican al interior del espacio de estudio o incidencia en los elementos de protección pasiva.

Figura 144
Comparativo de visualización entre ambos programas 02.

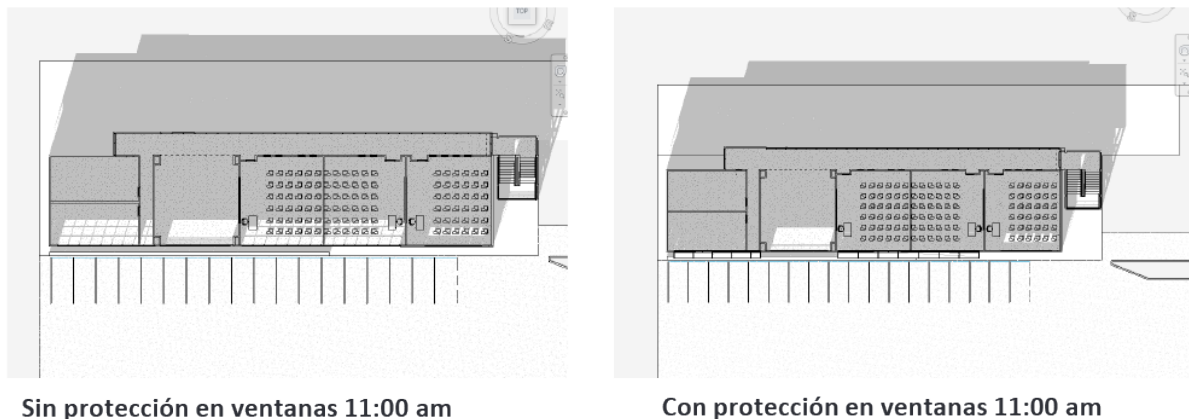


Nota: La figura muestra los vectores de visualización que inciden en el *Louver* o dispositivo de protección pasiva, *Rhinoceros 3D* se manejó en transparencias y *Revit* en sólido.

5.1.4. CONFIGURACIÓN DE MODELO EN REVIT PARA PRESENTACION DE PROYECTO.

Dentro de la configuración del proyecto en la plataforma de *Revit Architecture*, se puede apreciar el impacto directo que puede tener la implementación de protección pasiva dentro de los espacios del primer nivel, las imágenes de la Figura 145, muestran la comparativa del impacto lumínico en aulas y espacios de Nivel 1 a las 11:00 horas del 21 de septiembre, a la derecha se aprecia la iluminación directa dentro de las aulas, a la izquierda, se puede visualizar el impacto positivo que se tiene con el uso de los elementos de protección pasiva, no obstante, este tipo de elementos se ven enriquecidos con la implementación de graficas tipo *HeatMap* a la par de las plantas arquitectónicas, como se pudo observar en figuras anteriores.

Figura 145
Comparativa del impacto lumínico en aulas y espacios de Nivel 1.



Nota: Ventaja de la programación personalizada en Revit es la visualización real de sombras en interiores. Elaboración propia.

La Figura 146 muestra un render de presentación básico donde se pueden apreciar los *Louvers* en Fachada sur, la separación entre cada elemento de protección pasiva permite tener una vista al sur sin comprometer la iluminación al interior, cabe mencionar que la implementación de un sistema como el propuesto dentro de esta investigación, el espacio ganaría una independencia de iluminación durante su horario de uso matutino y parte del vespertino, en

promedio el aula cuenta en promedio con ~980 lux realizando la corrección de lectura sobre el nodo X7 en su lectura de las 08:00 horas, por otro lado, la lectura completa de la simulación durante todo el día antes de pasar a iluminación artificial ronda los ~700 lux, quedando por encima de los rangos mínimos requeridos para *sDA* y por debajo en ~300 lux de *UDI*.

Figura 146

Render del edificio F con Louvers en Fachada sur.

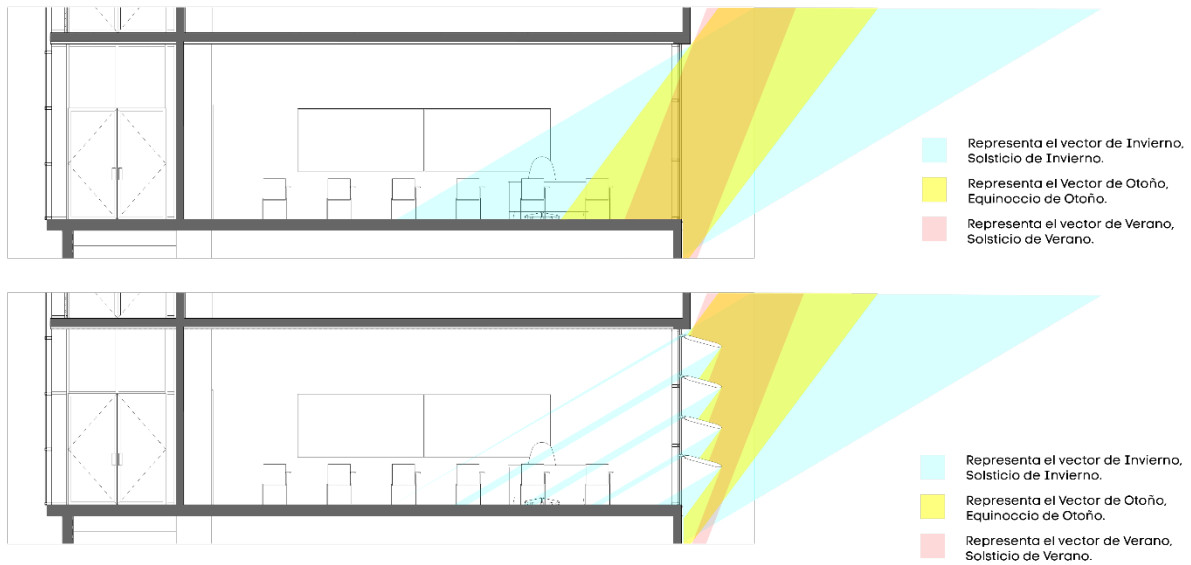


Nota: Render del Edificio F, este contempla una iluminación con un terreno similar al de Valle de las Palmas. Elaboración propia.

El resultado obtenido satisface las necesidades del espacio, y no sacrifica la estética del inmueble, dentro de las distintas visualizaciones realizadas, ninguna de estas muestra alguna interferencia visual desde el interior en su vista a la zona sur de la escuela, la cual cuenta con una vista a la oeste de Valle de las Palmas, los modelos implementados tendrían todas las características previstas del modelo y contarían con todas las indicaciones para realizarse mediante fabricación digital mandando el archivo *BIM* al proveedor de *Louver*, este procedería a realizar un archivo en código G, el cual también puede ser realizado desde *Rhinoceros 3D*, y obtener un modelo completamente interoperable, tanto para la elaboración de simulaciones como para realizar elementos para fabricación digital, la Figura 147, podría fungir como referencia visual

de cómo los elementos de protección pasiva pueden mejorar en los distintos periodos del año la iluminación de manera difusa a tener iluminación directa.

Figura 147
Visualización de la incidencia solar en Aula Nivel 01



Nota: La figura muestra una ilustración comparativa entre una ventana sin protección, y aquella con la implementación de *louvers* a partir del diseño generativo realizado dentro de esta investigación.

DISCUSIÓN

Dentro de los beneficios obtenidos dentro de las simulaciones en los distintos espacios de trabajo implementando el procedimiento de programación visual dentro de las distintas etapas de un proyecto arquitectónico, encontramos una independencia lumínica apegada a distintos reglamentos o estándares, tanto nacionales como internacionales, al ser utilizada en las distintas etapas de las simulaciones realizadas con archivos climáticos interpolados. Se indentificaron las afectaciones al interior de uno o más espacios, los cuales pueden llegar a ser mitigados mediante la implementación de envolventes arquitectónicos pasivos con las características resultantes de dichas simulaciones.

Mediante el uso de algoritmos evolutivos aplicables a la metodología BIM, en programas de modelado tridimensional como en aquellos de diseño vectorial, se puede explorar el uso de soluciones realizadas durante las distintas etapas de diseño del proyecto, ya sea en la etapa de anteproyecto utilizando el formato de *SIMPLE BOX MODEL*, y obtener una geometría básica donde solo se identifican aperturas, muros, pisos y techos, así como en la etapa de proyecto ejecutivo, donde se tienen definidos todo tipo de materiales, espacios, envolventes geométricos y divisorios, o bien, si es el caso, proyectos construidos que busquen una constante mejoría para beneficio del usuario tal como el modelo de estudio para esta investigación, donde se logró encontrar la cantidad de elementos de protección pasiva, su distribución y ángulo de inclinación, con la finalidad de optimizar el espacio de las aulas orientadas al sur del Edificio F de Valle de las Palmas.

La implementación de un esquema de programación visual interoperable en la metodología *BIM* ha permitido realizar múltiples mejoras. Los diseños optimizados de acuerdo con parámetros asignados, permiten enriquecer los distintos procesos del diseño, que puede ser respaldado por datos expresados en tablas, gráficas comparativas entre los datos e imágenes acompañadas de colores degradados en gradientes expresadas en la superficie base de los distintos espacios a o vistas interiores donde se visualizan mediante ojo de pez el impacto de Glare o reflectancia en las superficies de trabajo.

Los resultados producto del uso de algoritmos evolutivos supervisados con clústeres personalizados y adaptados a proyectos específicos, pueden mejorar los procesos de diseño y tiempos para el desarrollo de propuestas, en el caso de este trabajo de estudio, se logró mejorar la calidad interior de los espacios de manera virtual hasta en un 95% en la reducción de iluminación directa en el horario crítico matutino y hasta un 60% en relación al destello o *Glare*, el cual puede provocar un malestar al momento de realizar las actividades del día a día. No obstante, la aplicación temprana de este tipo de herramientas, pueden servir como apoyo a encontrar proporción de muro a ventana ideal para cada orientación, orientación ideal para optimizar la carga térmica producto de iluminación directa durante el día, así como encontrar forma y formatos de diseño, los cuales pueden constituir un complemento dentro de los despachos de arquitectura o personas freelance, en el caso de aquellos que realizan investigación, puede servir como apoyo si no se cuentan con herramientas especializadas, tanto digitales como en formato físico.

CONCLUSIONES

El proceso para el desarrollo de la presente investigación se dio mediante una serie de actividades ligadas al campo y en formato teórico. Dentro de aquellas elaboradas en campo, están las relacionadas con el levantamiento del edificio donde se desarrollaron las distintas simulaciones, el proceso inicial se basó en la aplicación de mejora continua al modelo tridimensional hasta llegar a un *LOD 350* en la disciplina de arquitectura, quedando pendiente las instalaciones, los detalles relacionados con diseño estructural, eléctrico e hidráulico/sanitario. Originalmente se había contemplado el uso de un edificio del área denominada Prisma, la cual cuenta con 4 edificios iguales, con una distribución de plantas arquitectónicas de distintas configuraciones dentro de cada inmueble, no obstante, se procedió a utilizar el edificio F, el cual tenía características con mayor desventaja, dentro de estas, es el no contar con planos arquitectónicos, con esto se puso a prueba los procesos aquí mencionados referidos a la digitalización del inmueble en *BIM* y realizar los procesos de interoperabilidad que se buscaban desde un inicio.

Una vez realizado el modelo tridimensional, se realizaron distintas revisiones a los detalles relacionados con las alturas dentro de los espacios de aulas, pasillos y laboratorios, aunado a estos, la escaleras en el lado este, y el tipo de cancelería utilizado en el inmueble real, no obstante, dentro de esta última, no se indicaron aquellas ventanas batientes en los distintos niveles del inmueble, esto con la finalidad de agilizar el modelado y a su vez, el presente trabajo no realiza simulaciones basadas en dinámicas de fluidos o *CFD* por sus siglas en inglés, enfocándose solamente en aspectos cualitativos y cuantitativos de iluminación y el impacto que esta pueda llegar a tener en el usuario.

Ya con el modelo completamente digitalizado y obtener una revisión completa de los detalles generales, se tomaron lecturas in situ el día 21 de septiembre, contenidas en la NOM-025-STPS-2008 para la distribución de puntos dentro de un espacio de trabajo con el área y las características del inmueble, dentro de las lecturas se encontró una alta similitud a los datos arrojados por el archivo climático interpolado, y tener una variación no mayor a un 5%, dentro de los espacios, se tomaron lecturas de temperatura, comportamiento térmico del espacio y fachada donde el envolvente era acristalado y en áreas de trabajo, al no contar con lectores o herramientas

para reflectancia o Glare, se consideraron los datos obtenidos por el programa, no obstante, estos pudieron ser corroborados por el uso de los espacios y la experiencia del usuario.

Otro de los elementos desarrollados para este trabajo de investigación, fueron nodos en formato de código de bloque, código *Python* y aquellos que obtenían información de archivos con datos tipo *.txt*, *.csv* y *.xml*, estos se fueron integrando paulatinamente después de tener el modelo y mediante la aplicación de estos, dentro de los distintos programas y aplicaciones implementadas, se agregaron datos específicos a materiales nuevos, cortes de visualización de espacios, exportación de volumetrías entre programas para facilitar la exportación y el desarrollo de simulaciones, entre otros elementos que siguen bajo el formato de *W.I.P.* y que estarán a la espera de futuras investigaciones los cuales abren la posibilidad de integrar otras disciplinas de trabajo dentro del área de simulación.

Para tener un control sobre los elementos que se fueron desarrollados a lo largo de la investigación, semestralmente se llevaron a cabo exposiciones de trabajo en Coloquios de Avance, estos permitieron tener retro alimentación por parte de los asesores y asistentes en general, al hacer una experiencia enriquecida dentro de estas sesiones de trabajo.

Si bien cada capítulo no cuenta con conclusiones específicas al final de cada uno, en retrospectiva se pudieran enunciar de la siguiente manera: Dentro del Capítulo I se integran todos los conceptos generales que ayudan a la comprensión de los términos y elementos usados e implementados aquí, son señalados de manera general, la información va dirigida a usuarios con antecedentes y conocimientos previos en el área, dejando de manera puntual lo que se quiere lograr, ya que actualmente existe información al alcance de cualquier usuario no especializado, tratando de facilitar conceptos que muy probablemente no domine. Otro de los puntos a resaltar, es que las citas dentro de esta investigación van ligadas a los artículos originales en inglés, tratando de utilizar una traducción lo más apegada a los términos empleados, ya que se encontró que, al momento de consultar artículos o literatura sobre el tema, esta tiende a ser adaptada al lugar donde se realiza la traducción, al realizar traducciones más neutras y apegadas a los términos empleados, se obtiene un control sobre lo que se busca expresar.

Dentro del Capítulo II, se dan los antecedentes del marco teórico y marco conceptual, donde se rescatan todos los elementos necesarios para comprender los términos empleados dentro de este trabajo, a partir aquellos que van de lo básico como la explicación de BIM, hasta

términos un tanto más complejo, como diseño generativo, *sDA* o *UDI*, comprensibles a nuevos usuarios o sin perder su esencia para aquellos ya especializados. Inician con un contexto general, seguido de la metodología empleada y los elementos que esta puede abarcar, así como el desarrollo y puntos específicos de la metodología de simulación y modelado, mediante la cual, se marcan las pautas para el modelado tridimensional, el proceso a seguir, la importancia de los detalles dentro de los elementos modelados, al ser estos de carácter físico o térmico en los materiales, así como la clasificación de los *LOD*, elementos dentro de *Revit Architecture* con el arranque del modelo, los pasos a seguir y obtener una representación del inmueble en un *LOD* 350, el cual es deseable para el desarrollo de simulaciones que vayan más allá de la tradicional *Simple Model Box*.

Dentro del Capítulo III se encuentran aquellos elementos relacionados con el marco metodológico y la metodología, recolección de datos, modelado y simulaciones, ayudando a comprender al lector la complejidad de realizar los procesos de interoperabilidad para archivos, a su vez, son listados los reglamentos, estándares y elementos considerados para el desarrollo y adaptación de scripts dentro de esta investigación, así como la construcción general del modelo, y aquellos elementos relacionados con datos climáticos especializados que son requeridos por las aplicaciones empleadas, estos programas de cómputo accesibles a licencias educativas, archivos con acceso mediante internet a espacios especializados y un apoyo en foros con usuarios en circunstancias similares, tales como profesionistas, investigadores o desarrolladores de aplicaciones a libre uso, cabe resaltar que dentro de los foros a los cuales se estuvo en constante acceso fueron aquellos de [forum.Dynamo™ bim.com](http://forum.Dynamo™bim.com), discourse.ladybug.tools, grasshopper3d.com/fórum y forums.autodesk.com/t5/revit-architecture-forum/, ya que al momento de generarse algún error, *loop* o advertencia, era más sencillo preguntar si otro usuario había tenido un problema similar y como pudo resolverlo, entre distintos factores que se pudieron obtener mejores resultados con cada iteración realizada.

El Capítulo IV muestra el diseño de la simulación, dentro de este, se marcan los procesos desarrollados dentro de las aplicaciones de *Revit Architecture* y su aplicación de *Dynamo*, cabe resaltar que originalmente, el proceso completo seria realizado dentro de esta aplicación, no obstante, como se explica dentro de este capítulo, Autodesk ha realizado modificaciones al

lenguaje utilizado para el desarrollo de sus programas y aplicaciones de cómputo, dentro de estas modificaciones, los cambios realizados en enero de 2020 no permitieron seguir utilizando al 100% este programa de cómputo, por ende, se migró a *Rhinoceros 3D*, no obstante, dentro de los alcances que se obtuvieron en *Revit Architecture*, resaltan dos procesos para facilitar el desarrollo de nueva información, entre estos, el desarrollo de los nodos en código de bloque para integrar nuevos materiales y su resistencia en R, así como la elaboración de un estudio de sombras a partir de imágenes por un periodo de Mes/Día/Hora, para generar archivos de imágenes tipo gif y facilitar la exportación de archivos o visualización de los mismos en aplicaciones móviles o aquellos equipos que no cuenten con la instalación del programa para ver el comportamiento de luz e iluminación al interior de espacios. Ya dentro de *Rhinoceros 3D*, se pudo realizar un estudio más completo, al integrar sus funciones vectoriales y el acceso a las aplicaciones dentro de *Grasshopper* como *LadybugTools*, *TT Tool Box* y con ello exportar información a Excel o *Galapagos*, con ello lograr el generar un elemento de protección pasiva mediante la implementación de diseño generativo supervisado.

Dentro del Capítulo V, examinamos los resultados de las distintas simulaciones, ya sean con elementos de protección pasiva o implementado aquellos elementos resultado de la simulación e interacción de los algoritmos para el desarrollo de protecciones pasivas para el nivel 1 de la fachada sur del edificio en cuestión, también dentro de este, se realiza una comparativa y análisis de resultados, mediante gráficas y distintas figuras que permitan al usuario comprender de manera visual, el impacto que puede llegar a tener el uso de este tipo de elementos diseñados de manera asistida implementado el uso de algoritmos *NSGA-II*, dejando por último, los resultados y conclusiones de este trabajo como tal.

Respecto a los alcances que se plantearon originalmente, estos pudieron ser validados, el principal fue el generar un archivo interoperable dentro de los programas de *Revit Architecture* y *Rhinoceros 3D* utilizando la mayoría de los aspectos básicos entre ambos programas, o en dado caso, hacer uso de aplicaciones desarrolladas por terceros de licenciamiento gratuito para fortalecer la información entre ambas plataformas.

También se lograron validar los objetivos particulares, entre estos, los elementos de protección pasiva arrojaron resultados para obtener una independencia lumínica en los horarios de uso común antes de utilizar luz artificial en un posible uso nocturno, el algoritmo de diseño

evolutivo logro auxiliar en la automatización del diseño de elementos de protección pasiva bajo supervisión de resultados en las distintas iteraciones realizadas a lo largo de este trabajo de investigación.

Ahora bien, reflexionando sobre el contexto original de la hipótesis planteada al inicio del Capítulo I, cabe resaltar que sí pueden ser mejorados los procesos de trabajo mediante la aplicación de diseño generativo, no obstante, estos procesos requieren de una serie de conocimientos en varios ámbitos, estos en Diseño Arquitectónico, Modelado 3D, Lenguaje de Programación Visual, Reglamentos y Estándares especializados a nivel nacional o internacional, y por último, contar con un equipo sólido sobre el cual recaerán todos los elementos que el usuario introduzca, si dentro de los modelos, archivos o requisitos, se tienen distintas carencias, los procesos pueden llegar a ser básicos, no obstante, los procesos básicos aquí realizados pueden presentar mejoras respecto a los procesos individuales tradicionales.

Cabe resaltar que la implementación de modelos en *LOD 350* presenta una mejora oportuna que utilizar el formato de simulación de *Simple Model Box*, ya que al usar esta última, implementa distintos elementos que pueden ser, o no considerados, entre estos la distribución del mobiliario, al utilizar modelos completos, parciales, de menor o mayor complejidad. Dentro de estos se puede observar el impacto de los valores simulados, para el caso de esta investigación, solo se procedió a realizar iluminaciones de iluminación natural, sin embargo, también se pueden obtener aspectos como sensación térmica del usuario, ganancia térmica en las distintas superficies de trabajo o piso del espacio, reflectancia en muros, plafones y áreas de trabajo, entre otras que como se ha señalado anteriormente, no forman parte de esta investigación. Señalando que dichos resultados se desarrollaron utilizando los nodos de *Ladybug Tools* y archivos generados específicamente para una zona fija en particular.

Dentro de los resultados obtenidos se puede mencionar que el algoritmo cumple con los fines que fue desarrollado, en este caso, un apoyo en el diseño de elementos pasivos de protección en envolventes arquitectónicos en un inmueble existente y que estos puedan llevar a un confort visual a los usuarios de dicho inmueble y los espacios mejorados.

Otro de los puntos que pueden ser señalados, es la aproximación de un método para poder llevar a la praxis, al ser este la aplicación de los nodos modificados para obtener resultados y verificar si los espacios cumplen o no con la norma mexicana para espacios de trabajo NOM-

025-STPS-2008 utilizando archivos climáticos interpolados o bien, archivos que pueda ser generados por estaciones meteorológicas que cumplan con las características en el formato de los datos necesarios para realizar las lecturas, como *WIP* quedo un archivo para hoja de cálculo que sería complemento de los resultados de *Revit Architecture* para visualizar los datos en un formato de grafica tipo *Heatmap*, y una visualización en *Power BI*, no obstante, las características del equipo de cómputo con el cual se contaba para realizar las simulaciones, no permitió realizar simulaciones y detalles más completos y complejos.

Para mejor dicha NOM Mexicana, es conveniente el solicitar la implementación de herramientas que estén respaldadas por medio de programación visual, y pueda representar los resultados mediante una gráfica tipo heatmap o mapa de calor con una gradiente sencilla que utilice los colores *Climate Studio*, *Radiance* o utilizada por *LEED* o *WEEL* facilitaría la visualización de la información sobre la superficie de estudio, a su vez, subir el número de puntos de 3 a 10, con ello, se pueden mediar porcentajes segmentando por sectores, cuadrantes o áreas para el desarrollo de estudios de iluminación, también dentro de este contexto, modificar el tipo de proporción de Ventana a Muro e implementarlo al diseño de anteproyecto en reglamentos Municipales, Estatales y a nivel Federal.

Por último, la implementación de este tipo de protecciones pasivas en fachadas con orientación sur, obtienen una mejor protección cuando se obtiene ayuda de elementos asistidos mediante un lenguaje de programación visual asistido por computadora, con las distintas propuestas elaboradas dentro de este trabajo de investigación, se logro obtener un patrón repetitivo que disminuyo en la simulación una lectura inicial de ~49.000 lux en un punto critico en las lecturas matutinas a un promedio de ~1,500 lux, bajo una implementación real, esta cumpliría con los criterios de *sDA* para 1 punto en *LEED* y con lo sugerido por la NOM Mexicana utilizando solamente iluminación natural durante la mayor parte del día, cumpliendo así, de manera positiva, el propósito inicial de este trabajo de investigación y con ello, dejando en puerta futuras investigaciones ligadas con diseño generativo aplicado a fabricación digital.

LIMITACIONES

Dentro de las limitaciones de exploración dentro de este trabajo de investigación, se encontró que para el desarrollo de modelos tridimensionales complejos, es necesario el uso de equipos de cómputo con características específicas para el desarrollo de simulaciones a nivel medio o aquellas con geometría compleja, esto a raíz de que aquellos programas de simulación genérica no permite obtener el potencial deseado, no obstante, al momento de querer desarrollar simulaciones específicas, ya sea referentes a iluminación, energéticas, dinámica de fluidos o aquellas relacionadas con el tema específico de *Building Science* o Ciencias de la construcción por su traducción al español, res necesario contar con equipos de cómputo de alta gama y tipo multitask Workstation por el manejo de hasta 22 núcleos, en comparativa con equipos de gama *Gamer* que pueden llegar a ser más accesibles para el usuario tradicional, estos equipos con procesadores i7 o i9 y hasta 18 núcleos de trabajo en los procesadores tipo i9.

También el uso de la memoria RAM y la Tarjeta de video son indispensables, deseable serian la implementación de equipos de gama media, aquellos que cuenten con una capacidad de 32 Gb en memoria *RAM* y una Tarjeta de video superior a una 2070 con 6 *GigaBites* de RAM para un desempeño óptimo de las gráficas a desarrollar en el entorno tridimensional, no obstante, si el presupuesto lo permite, se recomienda el uso de procesadores tipo AMD TreadRipper y tarjetas de video Nvidia Quadro.

Por otro lado y dando un seguimiento a los puntos encontrados a mejorar, podemos incluir la falta de datos de bases de estaciones meteorológicas o *EMA's* dentro del entorno nacional, Baja California cuenta con 11 estaciones meteorológicas de acceso libre, uno de los problemas encontrados, es que cuentan con una recolección de datos en el formato histórico, dejando fuera los elementos para realizar las simulaciones, aunado a esto, solo cuentan con almacenamiento de hasta 90 días, por otro lado, algunas de ellas no cuentan con una buena lectura dentro de sus sensores, dentro de la página oficial de la CONAGUA no se incluye una nomenclatura para identificar las *EMA's*, no se encuentra disponible la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Abelardo L Rodríguez, la cual cuenta con un identificador *WMO 760013*, y sus datos pueden ser accedidos desde distintos sitios de internet o en los libros con literatura especializada de *ASHRAE*.

Una forma de subsanar la falta de datos fue el generar un archivo climático interpolado desde un programa que genera información basada en estaciones o puntos cercanos al mismo, en este caso fue por medio del programa *Meteonorm*. Mediante este programa se generó el archivo correspondiente a Valle de las Palmas para la Unidad de FCITEC, la última actualización del archivo pudo generar aspectos similares a las condiciones de Valle de las Palmas, las cuales van desde los 0°C en invierno, hasta los 43°C en verano, estos últimos se registraron desde que se tiene en uso la unidad y por la falta de adecuaciones dentro de las aulas de la facultad, pueden llegar a afectar el desempeño de alumnos, académicos y/o usuarios, ya que solo el área de oficinas o cubículos cuentan con climatización artificial.

Dentro de aquellos elementos faltantes o pendientes dentro del presente trabajo de investigación, están aquellos relacionados a facilitar archivos y que estos sufran la menor afectación al momento de que los programas son actualizados, elementos que en la mayoría de ocasiones, el usuario final no controla, y puede pasar desapercibido si no es activo dentro de las comunidades de uso cotidiano, o bien, tiene un seguimiento continuo en la actualización de productos y/o servicios finales.

Si bien un usuario no especializado o con conocimientos básicos dentro de los programas de *Revit*, *Dynamo*, *Rhinoceros 3D* o *Grasshopper*, este puede llegar a mejorar sus conocimientos a un nivel intermedio con una curva de aprendizaje acelerada, en términos de programación interna, API, códigos de block, programación *Python* o diseño generativo, estas pueden llevar un tiempo más prolongado, a su vez, puede depender desde aspectos relacionados con el uso de una segunda lengua como el inglés o anglicismos, hasta limitaciones personales por aprender un nuevo formato o lenguaje para interpretar datos. Ya que, para el desarrollo de nuevos elementos para automatizar tareas dentro de los programas y aplicaciones antes mencionados, se debe seguir una ruta, independientemente del programa, el usuario se deberá familiarizar con nuevos términos, procesos y formas distintas a solucionar un problema, ya que, dentro del lenguaje de la informática, elementos con los que se pueden estar familiarizados, pueden llegar a cambiar de significado, el ejemplo más sencillo para indicar sería:

Un ejemplo sencillo sería la implementación de $X + 1$, matemáticamente hablando, este tendría que contener mayor información, entre esta, el signo de $=$, y posiblemente otra variante, esta pudiera ser y , b o aquella que se asigne dentro de la ecuación, y por más sencilla que

parezca, esta puede tener múltiples resultados, no obstante, cuando se menciona dentro de la programación visual. Esto muchas veces no se comprende a primera mano y puede llegar a causar conflictos al momento de querer generar un nuevo resultado.

Otro ejemplo es el entender la función de los conteos en el formato de programación visual, el conteo de todo elemento inicia en 0, esto también puede tener un impacto al inicio para los nuevos usuarios del lenguaje de programación visual. Adicional a esto, podemos mencionar aquello relacionado al generar aquellos elementos como nodos especializados, clústeres, identificar elementos para producir las etapas de diseño generativo, identificar modificadores independientes o aquellos a supervisar para facilitar la función del algoritmo NSGA-II e interpretar los resultados para poder descartar los que pueden funcionar para la investigación o aquellos que el programa puede generar y no realizan una aportación oportuna.

Por otra parte, los elementos obtenidos quedarían bajo la categoría de *Machine Learning*, ya que el usuario debe asignar manualmente los elementos que deberán ser contenido adicional dentro de nodos para la optimización de recursos y derivaciones que se obtengan de las distintas iteraciones realizadas, en este punto, se realiza una discriminación de datos y elementos de manera puntual. Al obtener bajo una categoría de elementos supervisados aquellos genomas que traigan una mejora constante al proyecto, esto debido a que se debe llevar a cabo una revisión de los posibles resultados de las iteraciones originales y ver aquellas que dan mejores resultados, eliminar los elementos que no están funcionando y volver a correr nuevas iteraciones de trabajo supervisado.

Otro ejemplo dentro de este trabajo fue en la selección del ángulo de inclinación, originalmente este tenía la libertad de 0° a 90° de inclinación, los principales resultados se daban a 90° en vertical dejando totalmente obstruido el vector solar hacia el interior de los espacios, en las últimas pruebas, esto se soluciona dejando un ángulo de hasta 15° a 30° de libertad en dirección horizontal/vertical, otro de los elementos que se tuvieron que modificar en varias ocasiones fueron la cantidad de *Louvers*, originalmente el nodo tenía un slider que iniciaba en 0 y terminaba en 100, para el algoritmo, era sencillo indicar que a mayor número de elementos en forma horizontal, menor la cantidad de vectores solares que se recibirán dentro del espacio a simular. Es aquí donde también se tuvieron que realizar modificaciones manuales, detalles como

este, son los que nos indican que los distintos algoritmos desarrollados dentro de este trabajo son de categoría supervisada.

Dentro de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, pueden ayudar a mejorar las propuestas de diseño para espacios de trabajo, educación o esparcimiento, ya que de manera grafica se puede observar si los espacios cumplen o no con las métricas solicitadas, no obstante, la NOM que solicita información relacionada a iluminación, se beneficiaría con este tipo de elementos, ya que se demostraría mediante una demostración dentro de la planta arquitectónica acompañada con una visualización en forma de mallado sobre la superficie de piso o a la altura que se realice la simulación, indicando por medio de una gradiente de colores y datos si la proporción de muro ventana, *facias* o vanos, cumplen o no con los mínimos requeridos para que se lleven a cabo las actividades al interior de los espacios simulados. Y con ello dar oportunidad de realizar modificaciones previo a ser construido el espacio.

A su vez, se detectó que un porcentaje ideal en relación de muro a ventana, es aproximadamente del 30% al 40% para los muros con orientación Oeste, si se implementa una protección pasiva exterior, esta puede traer iluminación difusa y constante durante periodos más largos, sin necesidad de tener una protección interna como cortinas o persianas, esto implicaría no tener una ganancia de temperatura al interior del espacio, o una reflectancia o *Glare* que este fuera de los formatos deseados para el desarrollo de actividades al interior de los espacios.

FUTURAS INVESTIGACIONES

Cabe resaltar que a futuro, sería el desarrollo de simulaciones en edificaciones con superficies de formato orgánico, esto llevaría a un punto distinto de estrés al algoritmo, ya que su función original es a superficies ortogonales, para el levantamiento de este tipo de inmuebles se abre la pauta a realizar levantamiento con *Radar Lidar* para generar nubes de puntos, y por ende, esto puede ayudar a generar simulaciones en un nivel diferente, esto abre las posibilidades a de realizar simulaciones desde edificios históricos, o bien aquellos ya existentes, pero que por la falta de proyecto arquitectónico reflejado en planos, llegue hacer que el levantamiento sea más sencillo para optimizar tiempos y esfuerzo.

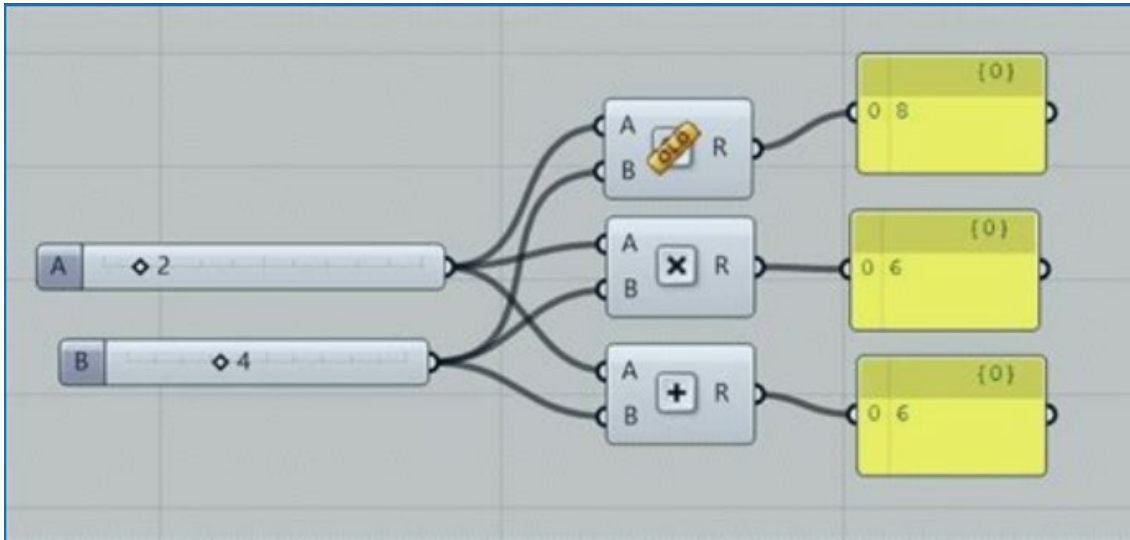
También el señalar que las simulaciones realizadas dentro de este trabajo, están basadas en la optimización de la envolvente utilizando elementos ya fabricados y que sus familias se encuentran para uso libre en internet, las cuales son citadas tanto por su proveedor como fecha de acceso, esto facilita los procesos para simulaciones más complejas ya que los archivos adquiridos contienen la mayor cantidad de información dentro y al momento de exportar vía *.gbXML* a otros simuladores, estos pueden verificar propiedades físicas, de masa, color y transmisión de calor/temperatura, así como de reflectancia o *Glare*, en caso de que se deban realizar los materiales de forma manual, el modelador, diseñador o usuario deberá cerciorarse que estos elementos vengán cargados en las familias que estarán utilizando, ya que es común que se utilicen elementos en formato genérico, sin características o propiedades, esto puede causar problemas al momento de querer adquirir datos específicos.

En caso de que terceros requieran recrear los procedimientos visualizados en las figuras que muestran los nodos de trabajo y estos no funcionen correctamente, deberán actualizar aquellos nodos que el programa identifique como *OLD*, *siendo este un nodo sin actualización tal como lo muestra la* Figura 148, esto puede solucionar la mayoría de los problemas, en caso de usar nodos desde la aplicación de *Rhino.Inside*, se deberá tener especial atención a los comunicados de actualización de información dentro de nodos, o nodos en específico, ya que esto puede representar un problema al querer correr las simulaciones, también considerar que los nodos utilizados para *Ladybug* y *Honeybee* son de la versión *Legacy*, al momento de escribir

estas líneas, *LadybugTools* se encuentra migrando a una versión comercial llamada *Polination*, la cual abre las puertas a seguir mejorando este tipo de trabajos de investigación y desarrollo de elementos.

Figura 148

Etiqueta de nodos obsoletos indicada con OLD.



Nota: Los elementos o nodos etiquetados con la leyenda OLD dejan de funcionar cuando existen actualizaciones y estas no reciben mantenimiento o son actualizadas a la par de los elementos de la misma aplicación, comúnmente estos pueden suplirse actualizando los elementos mediante UPGRADE.

Por último, cabe señalar que dentro del área de oportunidad que brinda esta investigación, es indagar en un método prospectivo que busca aportar a las teorías, métodos y herramientas existentes, para mejorar y encontrar soluciones para aquellos elementos que van desde lo cotidiano hasta lo especializado, y el giro que sigue como elemento natural para este trabajo, se basa en procesos como la programación de elementos electrónicos para fachadas cinéticas, fabricación digital para elementos de protección pasiva dividido en fases; en geometrías ortogonales a primera fase, y en geometrías orgánicas posteriormente, buscando incrementar escalas de trabajo para llegar en su momento a escalas 1:1.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2030-Palette. (2020). *TOOLS*. <http://www.2030palette.org/tools/>
- AIA. (2019). *Architect 's Guide to Building Performance*. 94. <https://www.aia.org/resources/6157114-architects-guide-to-building-performance>
- AIAU-AIA. (2020). *Energy Modeling for All: 2030 Commitment for Small Firms | AIAU*. <https://aiau.aia.org/courses/energy-modeling-all-2030-commitment-small-firms>
- Anbouhi, M. H. y Farahza, N. y Mohammad, S. y Ayatollahi, H. (2016). *Analysis of Thermal Behavior of Materials in the Building Envelope Using Building Information Modeling (BIM) — A Case Study Approach*. March, 88–106.
- Andriamamonjy, A. y Saelens, D. y Klein, R. (2018). An auto-deployed model-based fault detection and diagnosis approach for Air Handling Units using BIM and Modelica. *Automation in Construction*, 96(September), 508–526. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.09.016>
- ANSI/ASHRAE. (2004). ANSI/ASHRAE 55:2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Ashrae*, 2004, 30. <https://doi.org/10.1007/s11926-011-0203-9>
- Architecture 2030. (2009). *Architecture 2030*. <https://architecture2030.org/>
- Architecture 2030. (2014). *Project Methodology – Achieving Zero*. <https://achieving-zero.org/zero-cities-project/project-methodology/>
- ASHRAE. (n.d.). *Global Climate ANSI/ASHRAE 169-2013*. Retrieved July 6, 2021, from https://handbook.ashrae.org/Handbooks/A19/IP/A19_Ch24/figures/A24_f13.jpg
- ASHRAE. (2011). *Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings*.
- ASHRAE. (2014a). *Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings 50%*.
- ASHRAE. (2014b). COMPOSITE INDEX ASHRAE HANDBOOK SERIES. *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*, 1152–1152. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_100695
- ASHRAE. (2017a). *2017, ASHRAE fundamental handbook SI*.
- ASHRAE. (2017b). *STANDAR 90.1 USER ' S MANUAL Based on ANSI, ASHRAE, IES Standar 90.1-2016*.
- ASHRAE. (2018). *Advanced energy design guide for K-12 school buildings: achieving zero energy*.
- ASHRAE. (2021). *Standard 90.1*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>
- Athalye, R. y Xie, Y. y Liu, B. y Rosenburg, M. (2013). Analysis of Daylighting Requirements within ASHRAE Standard 90.1. *Pacific Northwest National Laboratory Pacific Northwest National Laboratory*, August. <http://www.ntis.gov/ordering.htm>
- Athienitis, A., & O'Brien, W. (Eds.). (2015). *Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings*. Ernst & Sohn.

- Autodesk. (2004). BUILDING INFORMATION MODELING BIM and Facilities Management. *Facilities*.
- Autodesk. (2005). AUTODESK ® REVIT ® WHITE PAPER Building Information Modeling for Sustainable Design. *Autodesk Revit White Paper*, 1–13. http://images.autodesk.com/latin_am_main/files/bim_for_sustainable_design_oct08.pdf
- Autodesk. (2020). *Autodesk Education & Student Access*. <https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview?sorting=featured&filters=individual>
- Autodesk. (2021a). *Generators - Generative Design Primer*. https://www.generativedesign.org/02-deeper-dive/02-01_algorithms/02-01-02_generators
- Autodesk. (2021b, October 7). *A new logo, look, and feel for Autodesk*. <https://adsknews.autodesk.com/news/new-autodesk-logo-2021>
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Azhar, S. y Carlton, W. A. y Olsen, D. y Ahmad, I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED ® rating analysis. *Automation in Construction*, 20(2), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.019>
- Bae Seo, M. y Beom Ju, K. (2013). A Study on the Interoperability between 2D Drawings and BIM-Based 3D Drawings. *Open Journal of Social Sciences*, 01(05), 10–14. <https://doi.org/10.4236/jss.2013.15003>
- Bellido-Montesinos, P. y Lozano-Galant, F. y Castilla, F. J. y Lozano-Galant, J. A. (2019). Experiences learned from an international BIM contest: Software use and information workflow analysis to be published in: Journal of Building Engineering. *Journal of Building Engineering*, 21(September 2018), 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.10.012>
- BIM Forum. (2019). Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary. *Bim-Bep*, April, 254. <https://bimforum.org/lod/>
- Bonham, M. Ben. (2020). *Bioclimatic Double-Skin Façades*. Routledge.
- Boukli Hacene, M. A. y Amara, S. y Chabane Sari, N. E. (2011). Thermal requirements and temperatures evolution in an ecological house. *Energy Procedia*, 6, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.013>
- Brophy, V. (2012). A Green Vitruvius. In *A Green Vitruvius*. <https://doi.org/10.4324/9781849776929>
- BSI. (2020). Information management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part 2: Processes for Project Delivery. *UK BIM Alliance*, 3, 42. <https://www.ukbimalliance.org/stories/information-management-according-to-bs-en-iso-19650/>
- Buratti, C. y Belloni, E. y Merli, F. y Ricciardi, P. (2018). A new index combining thermal, acoustic, and visual comfort of moderate environments in temperate climates. *Building and*

- Environment*, 139(November 2017), 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.038>
- Calle, P. (2017, October). *NSGA-II explained! - analytics lab @ OU*. <https://oklahoanalytics.com/data-science-techniques/nsga-ii-explained/>
- Charef, R. y Alaka, H. y Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, 19(April), 242–257. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028>
- Charef, R. y Emmitt, S. y Alaka, H. y Fouchal, F. (2019). Building Information Modelling adoption in the European Union: An overview. *Journal of Building Engineering*, 25(October 2018). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100777>
- Chen, P. H. y Nguyen, T. C. (2017). Integrating web map service and building information modeling for location and transportation analysis in green building certification process. *Automation in Construction*, 77, 52–66. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.014>
- Chen, P. H. y Nguyen, T. C. (2019). A BIM-WMS integrated decision support tool for supply chain management in construction. *Automation in Construction*, 98(August 2018), 289–301. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.019>
- Chen, Z. y Hammad, A. W. A. y Kamardeen, I. y Haddad, A. (2020). Optimising window design on residential building facades by considering heat transfer and natural lighting in nontropical regions of Australia. *Buildings*, 10(11), 1–27. <https://doi.org/10.3390/buildings10110206>
- Circle, T. (2013). *2013 ASHRAE Handbook—Fundamentals*.
- Clevenger, C. M. y Haymaker, J. (2011). Metrics to assess design guidance. *Design Studies*, 32(5), 431–456. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.02.001>
- Cole, R. J. y Oliver, A. (2016). Low Energy Low Carbon Architecture Recent Advances & Future Directions. In *CRC Press*. <http://www.crcnetbase.com/doi/pdfplus/10.1201/b19882-11>
- ColumbiaGSAPP. (2020). *Bjarke Ingels*. YouTube. <https://youtu.be/4Z82m-PxDO0>
- Crawley, D. B. y New, J. y Lott, J. N. y Morris, R. J. y Roth, M. y Vose, R. y Barnaby, C. S. y Burkhead, R. B. y Hanson, S. S. (2020). *Climatic Data for Building Design Standards* (Vol. 8400).
- Davis, D. (2013). *Modelled on Software Engineering : Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*. February.
- Davis, D. (2015). *The Next Generation of Computational Design | Architect Magazine*. https://www.architectmagazine.com/technology/the-next-generation-of-computational-design_o
- Davis, D. (2019). *Can Algorithms Design Buildings? | Architect Magazine*. https://www.architectmagazine.com/technology/can-algorithms-design-buildings_o
- Dekay, M. y Brown, G. Z. (2014). *Sun, Wind & Light; Architectural Design Strategies* (S. Bennett (Ed.)). Wiley.
- Delos Living LLC. (2016). *WELL BUILDING STANDARD ® May 2016 Addenda*. May.

- DOE. (2022). *Commercial Reference Buildings* | Department of Energy. <https://www.energy.gov/eere/buildings/commercial-reference-buildings>
- DynamoPrimer. (2016). Dynamo Primer. In M. Jezyk & J. Pierson (Eds.), *Autodesk Dynamo* (2.0, Vol. 2017, Issue July). [dynamo.org. https://primer.dynamobim.org/en/Appendix/DynamoPrimer-Print.pdf](https://primer.dynamobim.org/en/Appendix/DynamoPrimer-Print.pdf)
- Eadie, R. y Browne, M. y Odeyinka, H. y McKeown, C. y McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>
- Edwards, R. E. y Lou, E. y Bataw, A. y Kamaruzzaman, S. N. y Johnson, C. (2019). Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects. *Journal of Building Engineering*, 24(January), 100697. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.027>
- El-Diraby, T. y Krijnen, T. y Papagelis, M. (2017). BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. *Automation in Construction*, 82(September 2016), 59–74. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004>
- El Sheikh, A. A. R. y Al Ajeeli, A. y Abu-Taieh, E. M. O. (2007). Simulation and modeling: Current technologies and applications. In *Simulation and Modeling: Current Technologies and Applications*. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-198-8>
- Evans, H. M. A. (2016). *How Buildings Works*. RIBA Publishing.
- Farzaneh, A. y Monfet, D. y Forgues, D. (2019). Review of using Building Information Modeling for building energy modeling during the design process. *Journal of Building Engineering*, 23(January), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.029>
- Fazli, A. y Fathi, S. y Enferadi, M. H. y Fazli, M. y Fathi, B. (2014). Appraising Effectiveness of Building Information Management (BIM) in Project Management. *Procedia Technology*, 16, 1116–1125. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.126>
- Flannery, J. A. y Smith, K. M. (2014). *Eco-Library Design*. Springer.
- Fox, L. C. y Balding, J. J. (2005). *Introducing and Implementing Autodesk Revit*. Delmar Learning - Autodesk Press.
- Francisco, A. y Truong, H. y Khosrowpour, A. y Taylor, J. E. y Mohammadi, N. (2018). Occupant perceptions of building information model-based energy visualizations in eco-feedback systems. *Applied Energy*, 221(December 2017), 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.132>
- Frigerio, A. y Le, V. E. y Orozco, M. E. M. (2020). *Evaluación de iluminación natural , con base a orientación en espacios interiores . Caso de estudio : vivienda en fraccionamiento de clase media en Saltillo*.
- Gagne, J. y Andersen, M. (2012). A generative facade design method based on daylighting performance goals. *Journal of Building Performance Simulation*, 5(3), 141–154. <https://doi.org/10.1080/19401493.2010.549572>
- Gallopín, G. (2018). Back to the future. *Energy Policy*, 123, 318–324.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.060>

Gao, A. (2011). *Building Skin & Details*. Liaoning Science & Technology Publishing House.

Gaspari, J. y Fabbri, K. y Cancellari, T. y Corazzi, G. y Vodola, V. (2017). The use of building performance simulation to support architectural design: A case study. *Energy Procedia*, 122, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.346>

GeeksforGeeks. (2020). *C++ vs Java vs Python*. <https://www.geeksforgeeks.org/c-vs-java-vs-python/>

Ghobad, L. L. (2018). Daylighting and energy simulation workflow in performance-based building simulation tools. *ASHRAE and IBPSA-USA Building Simulation Conference*, 382–389.

GobBC. (1976). *REGLAMENTO DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA 1976*.

GobBC. (2018). *REGLAMENTO DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA 2018*.

Google. (2022). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/@32.4334753,-116.6749338,245m/data=!3m1!1e3>

Hamza, N. y DeWilde, P. (2014). Building simulation visualization for the boardroom: An exploratory study. *Journal of Building Performance Simulation*, 7(1), 52–67. <https://doi.org/10.1080/19401493.2013.767377>

Hansen, N. (2014, December). *The CMA Evolution Strategy*. <https://cma-es.github.io/index.html>

Hardin, B. y McCool, D. (2015). *BIM and Construction Management*. Wiley & Sons, Inc.

Harding, J. E. y Shepherd, P. (2017). Meta-Parametric Design. *Design Studies*, 52, 73–95. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.005>

Hastings, S. R. y Wall, M. (2013). Sustainable solar housing: Volume 1 - Strategies and solutions. In *Sustainable Solar Housing: Volume 1 - Strategies and Solutions* (Vol. 9781849772). <https://doi.org/10.4324/9781849772815>

Hemsath, T. L. y Bandhosseini, K. A. (2017). Energy Modeling in Architectural Design. In *Energy Modeling in Architectural Design*. <https://doi.org/10.4324/9781315712901>

Hensen, J. L. M. y Lamberts, R. (2011). *Building Performance Simulation for Design and Operation*. https://www.academia.edu/4961552/Building_Performance_Simulation_for_Design_and_Operation

Herzog, T. y Krippner, R. y Lang, W. (2004). Facade Construction Manual. In *Facade Construction Manual*. <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614566>

Hiron. (2022, April). *GitHub - hrntsm/Tunny: Tunny is Grasshopper's optimization component using Optuna, an open source hyperparameter auto-optimization framework*. <https://github.com/hrntsm/Tunny>

Holzer, D. (2016). *THE BIM MANAGER'S HANDBOOK, Guidance for Professionals in*

Architecture, Engineering, and Construction. (1st ed.). Wiley & Sons Ltd.

Hong, T. y Kim, J. y Jeong, J. y Lee, M. y Ji, C. (2017). Automatic calibration model of a building energy simulation using optimization algorithm. *Energy Procedia*, 105, 3698–3704. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.855>

Hootman, T. (2013). *Net Zero Energy Design a Guide for Commercial Architecture*.

Ibem, E. O. y Laryea, S. (2014). Survey of digital technologies in procurement of construction projects. *Automation in Construction*, 46, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.003>

IBPSA-USA. (2021). *Search Software and Training | Best Directory*. IBPSA-USA. https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software-listing?keywords=&field_catagory_tid%5B%5D=27&field_platform_tid=All&field_price_tid=All&field_last_updated_value%5Bvalue%5D%5Byear%5D=2010&field_language_tid=All&keys=&sort_by=field_rating_rating&sort_order=DESC&items_per_page=40

ICC. (2018, May). *Modelado y Simulación*. <https://icc.fcen.uba.ar/modelado-y-simulacion/>

IEA. (2020). *Policy coverage of total final energy consumption in buildings, 2000-2018 – Charts – Data & Statistics - IEA*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/policy-coverage-of-total-final-energy-consumption-in-buildings-2000-2018>

Jakubiec, J. A. y Reinhart, C. (2011). The “adaptive zone” - A concept for Assessing glare throughout daylight spaces. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 2178–2185.

Jaskiewicz, T. (2013). *Towards a Methodology for Complex Adaptive*. <https://doi.org/10.4233/uuid:a81827c5-7d65-4cc7-9fab-20fab3a14c30>

Juan, D. y Zheng, Q. (2014). *Cloud and Open BIM-Based Building Information Interoperability Research* *. *April*, 47–56.

Jung, D. kyo y Lee, D. hwan y Shin, J. ho y Song, B. hun y Park, S. (2013). Optimization of energy consumption using BIM-based building energy performance analysis. *Applied Mechanics and Materials*, 281, 649–652. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.281.649>

Kamel, E. y Memari, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*, 97(November 2018), 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>

Kensek, K. (2014). Integration of Environmental Sensors with BIM: Case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. *Informes de La Construcción*, 66(536). <https://doi.org/10.3989/ic.13.151>

Kensek, K. (2015). Visual programming for building information modeling: Energy and shading analysis case studies. *Journal of Green Building*, 10(4), 28–43. <https://doi.org/10.3992/jgb.10.4.28>

Kensek, K. y Noble, D. (2014). *Building Information Modeling BIM in Current and Future Practice*. Wiley.

- Knaack, U. y Klein, T. y Bilow, M. y Auer, T. (2007). Façades, Principles of Construction. In *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Vol. 53). <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415324A009>
- Kota, S. y Haberl, J. S. y Clayton, M. J. y Yan, W. (2014). Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. *Energy and Buildings*, 81, 391–403. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.043>
- Kumar, B. (2015). *A Practical Guide to Adopting BIM in Construction Projects*. Whittles Publishing.
- Lechner, N. (2009). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects*. Wiley.
- Lee, D. y Cho, Y. H. y Jo, J. H. (2021). Assessment of control strategy of adaptive façades for heating, cooling, lighting energy conservation and glare prevention. *Energy and Buildings*, 235, 110739. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110739>
- Lee, J. E. y Peng, M. y Kwan, S. Y. (2018). Integration of environmental simulation to parametric design workflow: Thermal comfort and daylight. *ASHRAE and IBPSA-USA Building Simulation Conference*, 374–381.
- LEED. (2009). *LEED Reference Guide for Building Design and Construction V4 - Ballot Version*.
- Li, W. y Samuelson, H. (2020). A new method for visualizing and evaluating views in architectural design. *Developments in the Built Environment*, 1(January), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100005>
- LNB. (2018). *Guía de exportación a ifc desde graphisoft archicad librería nacional bim* (p. 17). <http://www.librerianacionalbim.cl/wp-content/uploads/2018/10/Guía-de-Exportación-a-IFC-desde-ARCHICAD-LNB.pdf>
- Mackey, C. y Roudsari, M. S. (2018). The Tool(s) Versus The Toolkit. *Humanizing Digital Reality*, 2, 93–101. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6611-5_9
- Mackey, C. y Roudsari, M. S. y Samaras, P. (2015). ComfortCover: A novel method for the design of outdoor shades. *Simulation Series*, 47(7), 111–118.
- Malina, M. (2013). *Delivering Sustainable Buildings an industry insider's view*. Wiley Blackwell.
- Mars, R. y FitzGerald, E. (2018). *thermal-delight*. Radiotopia. <https://99percentinvisible.org/episode/thermal-delight/>
- Marsh, A. (2014). *PD: 3D Sun-Path*. <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html>
- Marsh, A. (2020). *PD: Dynamic Daylight Simulation*. <http://performativedesign.com/articles/2017/realtime-daylight/>
- Matarneh, S. T. y Danso-Amoako, M. y Al-Bizri, S. y Gaterell, M. y Matarneh, R. (2019). Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions. *Journal of Building Engineering*, 24(January), 100755. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100755>
- Mccormack, J. y Dorin, A. y Innocent, T. (2004). Generative design : a paradigm for design research. *Proceedings of Futureground*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.146.3398&rep=rep1&ty>

pe=pdf

- McNeel, R. (2018). *Rhino.Inside®.Revit*. <https://www.rhino3d.com/inside/revit/1.0/>
- Menezes, K. y Oliveira-Smith, P. de y FAIA, V. W. (2022). PROGRAMMING FOR HEALTH AND WELLBEING IN ARCHITECTURE. In *Journal of the American Holistic Veterinary Medical Association*. Routledge - Taylor & Francis Group.
- Messner, J. y Anumba, C. y Dubler, C. y Goodman, S. y Kasprzak, C. y Kreider, R. y Leicht, R. y Saluja, C. y Zikic, N. (2019). *BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.2*. 1–135. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- MIT. (2016). *Bifocals | Food4Rhino*. Food4Rhino. <https://www.food4rhino.com/en/app/bifocals>
- Mitterhofer, M. y Schneider, G. F. y Stratbücker, S. y Steiger, S. (2019). Semantics for assembling modular components in a scalable building performance simulation. *Journal of Building Performance Simulation*, 12(2), 145–159. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1492020>
- Mordue, S. y Swaddle, P. y Philp, D. (2016). *Building Information Modeling For Dummies*. Wiley.
- Nabil, A. y Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38(7), 905–913. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>
- Naboni, E. y Havinga, L. (2019). *Regenerative Design in Digital Practice. A Handbook for the Built Environment*. 417. <https://www.eurestore.eu/publications-and-articles/>
- Naboni, E. y Malcangi, A. y Zhang, Y. y Barzon, F. (2015). Defining the energy saving potential of architectural design. *Energy Procedia*, 83(1991), 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.204>
- NATSPEC. (2013). BIM and LOD Building Information Modelling and Level of Development. *NATSPEC BIM Paper*, November, 20. https://bim.natspec.org/images/NATSPEC_Documents/NATSPEC_BIM_LOD_Paper_131115.pdf
- Nawari, N. y Kuenstle, M. (2015). Building Information Modeling Framework for Structural Design. In *International Journal of 3-D Information Modeling*. <https://doi.org/10.4018/ij3dim.2012100101>
- Negendahl, K. (2015). Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. *Automation in Construction*, 54, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.002>
- Ochoa, C. E. y Capeluto, I. G. (2006). Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates. *Building and Environment*, 41(8), 1128–1135. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.001>
- Olawumi, T. O. y Chan, D. W. M. y Wong, J. K. W. y Chan, A. P. C. (2018). Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *Journal of Building Engineering*, 20(June), 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.06.017>
- Omid, H. (2019). *Survey of parametric optimization plugins in Rhinoceros used in contemporary*

*architectural design Hanie Omid * Mahmood Golabchi. July.*

- ONU. (2020). *La Agenda para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Onur, A. Z. y Nouban, F. (2019). BIM software in architectural modelling. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11), 2089–2093. <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1968.0981119>
- Oulton, T. (2015). *The Information Manager & PAS 1192 making the difference* (Issue June).
- Overbey, D. (2018). *ASHRAE Standard 209 | IBPSA*. <https://www.ibpsa.us/news/clarifying-energy-simulation-aided-design-look-ashrae-standard-209>
- Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, 29(2), 99–120. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003>
- Parkinson, K. (2018). *UK-led international standards for BIM BSI Group structure*. bsi.
- Pärn, E. A. y Edwards, D. J. (2017). Conceptualising the FinDD API plug-in: A study of BIM-FM integration. *Automation in Construction*, 80, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.015>
- Passe, U. y Battaglia, F. (2015). Designing Spaces for Natural Ventilation. In *Designing Spaces for Natural Ventilation*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203583470>
- Pater, R. (2017). *The Politics of design. A (not so) global manual for visual communication*. B/S.
- PENNSTATE. (2010). Building Information Modeling Execution Planning Guide. *The Pennsylvania State University*, 53, 160. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Peters, B. (2018). Defining environments: Understanding architectural performance through modelling, simulation and visualisation. *Architectural Design*, 88(1), 82–91. <https://doi.org/10.1002/ad.2262>
- Peters, B. y Peters, T. (2018). *COMPUTING THE ENVIRONMENT*. John Wiley & Sons Ltd.
- Pezeshki, Z. y Soleimani, A. y Darabi, A. (2019). Application of BEM and using BIM database for BEM: A review. *Journal of Building Engineering*, 23, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.021>
- POEBC. (2014). Programa de Ordenamiento Ecologico del Estado de Baja California. *Consejo Estatal de Proteccion Al Ambiente Del Estado de Baja California*, 34, 1–434. <http://www.spabc.gob.mx/wp-content/uploads/2018/04/DOCUMENTO-COMPLETO-POEBC-2014.pdf>
- Quek, G. y Jakubiec, J. A. (2019). Calibration and Validation of Climate-Based Daylighting Models Based on One-Time Field Measurements: Office Buildings in the Tropics. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, January, 1–20. <https://doi.org/10.1080/15502724.2019.1570852>
- Ravenscroft, T. (2019, June 27). *Parametric tool Finch can generate adaptive floor plans*. <https://www.dezeen.com/2019/06/27/adaptive-floor-plans-wallgren-arkitekter-box-bygg->

parametric-tool/#

- Reinhart, C. F. y Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces. *Building and Environment*, 46(2), 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.08.001>
- Ricciardi, P. y Buratti, C. (2018). Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, 127(August 2017), 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.030>
- Rockwell, K. (2020). Spatial Daylight Autonomy Imprecision Correlated To the Increased Application of Daylight Driven Design. *ASHRAE Topical Conference Proceedings*, 130–135.
- Róka-Madarász, L. y Mályusz, L. y Tucza, P. (2016). Benchmarking facilities operation and maintenance management using CAFM database: Data analysis and new results. *Journal of Building Engineering*, 6, 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.03.007>
- Roudsari, M. (2017). *Ladybug Tools | About*. <https://www.ladybug.tools/about.html>
- Roudsari, M. y Mackey, C. (2018). *Pollination Home Page*. <https://www.pollination.cloud/>
- Roudsari, M. y Pak, M. (2013). Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association*, 3128–3135.
- Rutten, D. (2011). *Evolutionary Principles applied to Problem Solving*. <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/>
- Sampaio, A. Z. (2017). *BIM as a Computer-Aided Design Methodology in Civil Engineering*. 194–210. <https://doi.org/10.4236/jsea.2017.102012>
- Scheifele, C. y Verl, A. y Riedel, O. (2019). Real-time co-simulation for the virtual commissioning of production systems. *Procedia CIRP*, 79, 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.104>
- Schittich, C. (2006). *Building Skins New enlarged edition*. Birkhäuser.
- Schwegler, B. (2010). Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling by Eddy Krygiel and Bradley Nies. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 14, Issue 5). <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00270.x>
- Sharples, S. y Bougdah, H. (2010). *Environment, Technology and Sustainability*. Taylor & Francis.
- SHCP. (2019). *Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción (mic) en México* (Issue Mic). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/473961/Plan_estrategico_MIC.PDF
- Shi, X. y Yang, W. (2013). Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. *Automation in Construction*, 32, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.015>
- Shih, N. y Lee, C. y Chan, T. y Tzen, S. (2013). *The Integrated 3D As-Built Representation of Underground MRT Construction Sites*. 2013(December), 153–162.

- Smith, D. (2007). An introduction to Building Information Modeling. *Journal of Building Information Modeling*, Fall 2007(February), 12–14.
- Snyman, J. A. (2005). *Practical mathematical optimization an introduction to basic optimization theory and classical and new gradient-based algorithms*. Springer.
- Solla, M. y Ismail, L. H. y Shaarani, A. sharainon M. y Milad, A. (2019). Measuring the feasibility of using of BIM application to facilitate GBI assessment process. *Journal of Building Engineering*, 25(June), 100821. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100821>
- STPS. (2008). NOM-025-STPS-2008. <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>
- Talarico, G. (2016). *revitapidocs*. <https://www.revitapidocs.com/>
- Tecate, A. (2016). *Baja California-Tecate*. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM02bajacalifornia/municipios/02003a.html>
- Techbeacon. (2021). *JavaScript compared to C, Java, C#, Python, Ruby, and PHP—in bullets*. <https://techbeacon.com/app-dev-testing/javascript-vs-other-languages-live-long-prosper>
- Tedeschi, A. (2014). *AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies using Grasshopper*. Le Penseur. http://www.arturotedeschi.com/wordpress/?page_id=6691
- Terzidis, K. (2006). Algorithmic Architecture. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Architectural Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Terzidis, K. (2009). *Algorithms for Visual Design Using the Processing Language*. Whittles Publishing, Inc.
- Tijuana. (2019). *REGLAMENTO DE LA LEY DE EDIFICACIONES PARA EL MUNICIPIO DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA*.
- Tregenza, P. y Wilson, M. (2011). *Daylighting Architecture and Lighting Desing*. Routledge.
- Trubiano, F. y Roudsari, M. S. y Ozkan, A. (2013). Building simulation and evolutionary optimization in the conceptual design of a high-performance office building. *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association, August*, 1306–1314.
- van der Heijden, R. (2018). *ThinkParametric | Elefront 101 Distributed Data Models with Rhino Objects*. <https://thinkparametric.com/courses/elefront-101-distributed-data-models-with-rhino-objects>
- Villaggi, L. y Nagy, D. (2018). *Generative Design for Architectural Space Planning – Autodesk University – Medium*. <https://medium.com/autodesk-university/generative-design-for-architectural-space-planning-9f82cf5dc0>
- Volk, R. y Stengel, J. y Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Williams, R. (2018, April 18). *To Dynamo 2.0 and Beyond - Dynamo BIM*. <https://dynamobim.org/to-dynamo-2-0-and-beyond/>

- Wintour, P. (2018). *A brief history of computation*. Blog. <https://parametricmonkey.com/2018/06/08/a-brief-history-of-computation/>
- Wortmann, T. y Tunçer, B. (2017). Differentiating parametric design: Digital workflows in contemporary architecture and construction. *Design Studies*, 52, 173–197. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.05.004>
- Yang, J. Bin y Chou, H. Y. (2019). Subjective benefit evaluation model for immature BIM-enabled stakeholders. *Automation in Construction*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102908>
- Yin, X. y Liu, H. y Chen, Y. y Al-Hussein, M. (2019). Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*, 101(January), 72–91. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.010>
- Yu, M. (2013). Skins, Envelopes, and Enclosures. In *Skins, Envelopes, and Enclosures*. <https://doi.org/10.4324/9780203785294>
- Zapata, P. (2017). *Conceptos Fundamentales de ARCHICAD – GRAPHISOFT Latinoamérica*. <http://blog.graphisoft.lat/conceptos-fundamentales-de-archicad/>
- Zhang, C. y Ong, L. (2017). *Sensitivity Analysis of Building Envelop Elements Impact on Energy Consumptions Using BIM*. 488–508. <https://doi.org/10.4236/ojce.2017.73033>

APENDICE

Dentro de esta sección se encontrarán los planos del edificio F, esto con la finalidad de entender la distribución de espacios. Los planos comprenden plantas arquitectónicas por nivel y alzados o fachadas. Cada planta arquitectónica cuenta con una tabla en la cual se muestran los metros cuadrados por cada espacio, aula, pasillos y laboratorios, separados por nombre y nomenclatura de color.

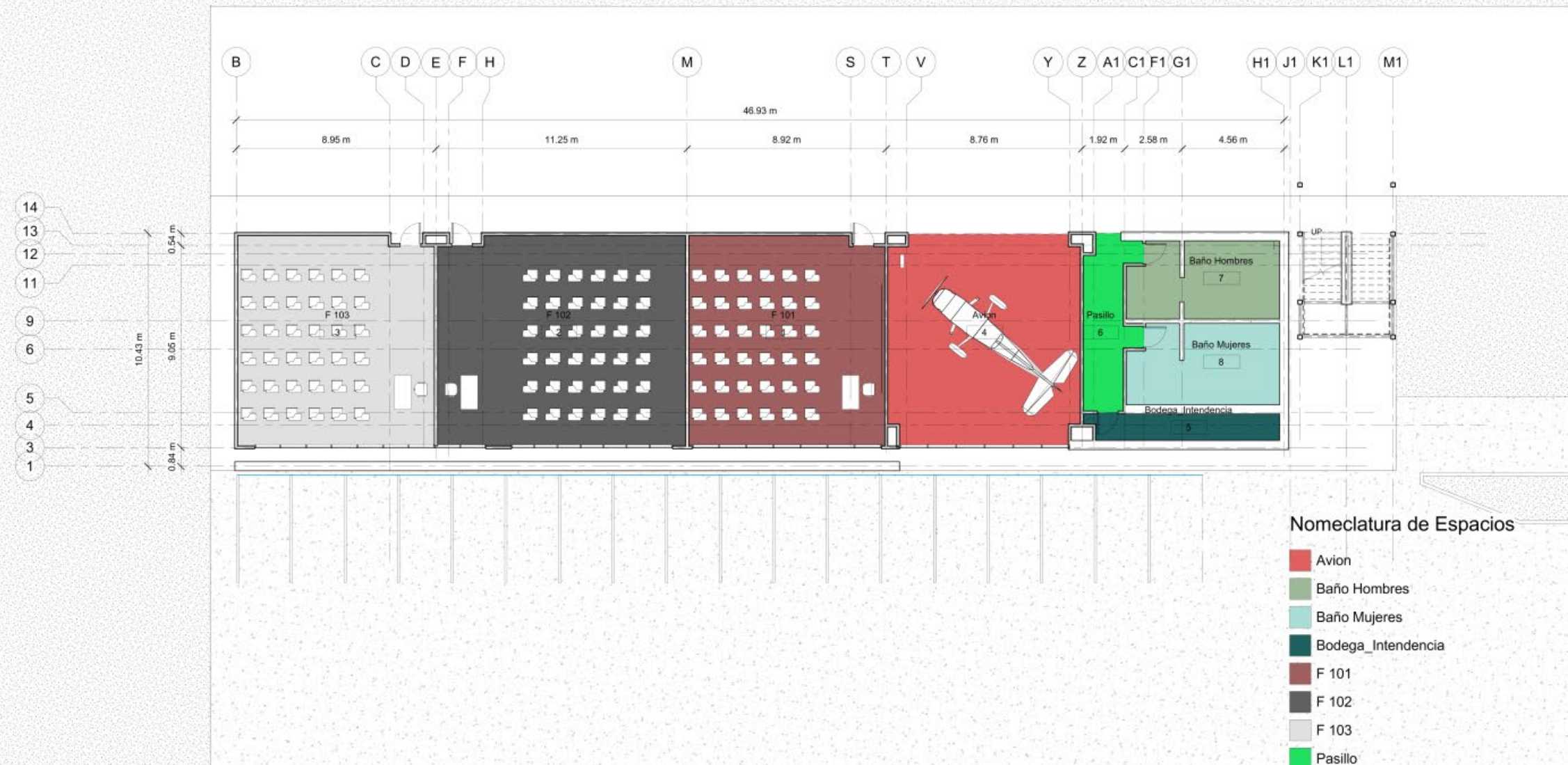


Tabla de Espacios Planta Baja			
Numero	Nombre de Espacio	Nivel	Area
00_Planta Baja_Tipo			
1	F 101	00_Planta Baja_Tipo	81.74 m²
2	F 102	00_Planta Baja_Tipo	103.37 m²
3	F 103	00_Planta Baja_Tipo	81.73 m²
4	Avion	00_Planta Baja_Tipo	79.70 m²
5	Bodega_Intendencia	00_Planta Baja_Tipo	10.00 m²
6	Pasillo	00_Planta Baja_Tipo	15.29 m²
7	Baño Hombres	00_Planta Baja_Tipo	22.61 m²
8	Baño Mujeres	00_Planta Baja_Tipo	23.70 m²
00_Planta Baja_Tipo: 8			

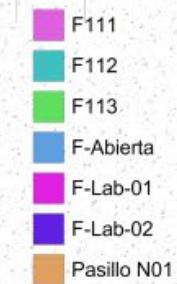
[illegible]

UABC
Edificio F
Planta Baja

Project number	Project Number
Date	Issue Date
Drawn by	Author
Checked by	Checker

A-01

Scale 1 : 100



01_Nivel_01_Tipo			
9	F-Lab-01	01_Nivel_01_Tipo	44.23 m²
10	F-Lab-02	01_Nivel_01_Tipo	42.39 m²
11	F-Abierta	01_Nivel_01_Tipo	83.20 m²
12	Pasillo N01	01_Nivel_01_Tipo	116.02 m²
13	F111	01_Nivel_01_Tipo	82.00 m²
14	F112	01_Nivel_01_Tipo	80.51 m²
15	F113	01_Nivel_01_Tipo	84.38 m²

15	F113
01_Nivel	01_Tipo: 7



UABC
Edificio F
Nivel 01

A-02

Scale 1 : 100



02_Nivel 02_Tipo: 6
6



Scale	1 : 100
-------	---------



1 00_Conjunto_
1 : 200

[illegible]

UABC
Edificio F

Azotea

Project number	Project Number
Date	Issue Date
Drawn by	Author
Checked by	Checker

A-04

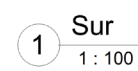
Scale	1 : 200
-------	---------



UABC
Edificio F
Isometrico

A-05

Scale

[illegible]

UABC

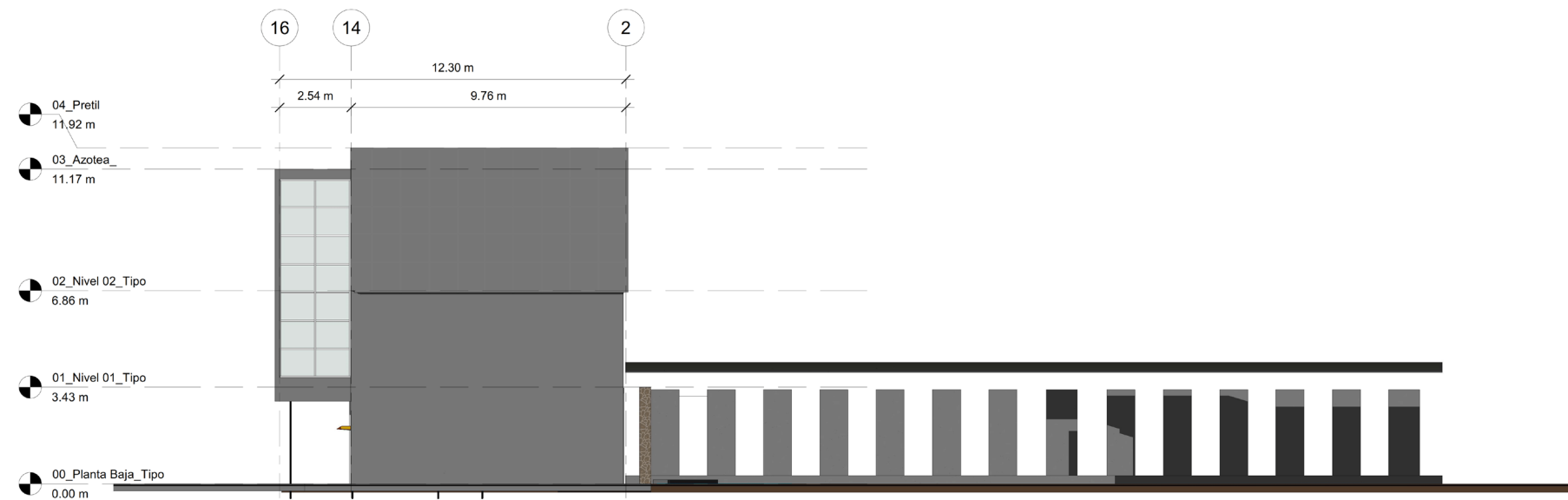
Edificio F

Alzados

Project number	Project Number
Date	Issue Date
Drawn by	Author
Checked by	Checker
A-07	
Scale	1 : 100



1 Este
1 : 100



2 Oeste
1 : 100

[illegible]

UABC

Edificio F

Alzados

Project number	Project Number
Date	Issue Date
Drawn by	Author
Checked by	Checker
A-08	
Scale	1 : 100

Elementos complementarios de proyecto.

Apéndice 8

Código Qr – Acceso a Información en la nube_ Plataforma Google Drive.



Nota: El acceso a la Información y repositorio hospedado en la nube_ Plataforma Google Drive, se manejará con acceso controlado, esto para tener un control de usuarios y que no se modifique o pierdan elementos sensibles, esto hasta llegar a nodos que puedan ser compartidos y se hospeden dentro de los programas de programación visual.

guillermo.sepulveda@uabc.edu.mx

<https://www.researchgate.net/profile/Guillermo-Sepulveda-Gil>

<https://orcid.org/0000-0001-8527-5086>



GUILLERMO ANTONIO SEPULVEDA GIL
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO
AGOSTO 2022