

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

**IMPLEMENTACIÓN DE CONCEPTOS DE COMPOSICIÓN ARQUITECTÓNICA
PARAMÉTRICA INTEGRADA DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EN LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Arquitectura

Presenta:

Valentyn-Vladyslav Kotsarenko

Dirigido por:

M. en A. Guillermo Iván López Domínguez

Querétaro, Qro. a 1 de Julio de 2022



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Arquitectura

**IMPLEMENTACIÓN DE CONCEPTOS DE COMPOSICIÓN ARQUITECTÓNICA
PARAMÉTRICA INTEGRADA DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EN LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Arquitectura

Presenta:

Valentyn-Vladyslav Kotsarenko

Dirigido por:

M. en A. Guillermo Iván López Domínguez

M. en A. Guillermo Iván López Domínguez
Presidente

Dr. Avatar Flores Gutiérrez
Secretario

M.C. Verónica Leyva Picazo
Vocal

M.D.I. Anelisse Yerett Oliveri Rivera
Suplente

Arq. Graciela del Carmen Márquez Santoyo
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario (1 de Julio de 2022)
México

“El verdadero progreso es el que pone la tecnología al alcance de todos”

Henry Ford
1863 - 1947

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo y financiamiento de esta investigación junto a mis estudios de maestría.

Expreso mi gratitud a la División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DIPFI), a la Maestría en Arquitectura (MARQ) junto a todas las personas que conforman a la comunidad académica.

Agradezco a mi director de tesis M. Arq. Guillermo Iván López Domínguez por el apoyo y la guía que ha presentado durante todo el proceso de la investigación, a los miembros del sínodo: Dr. Avatar Flores Gutiérrez, M.C. Verónica Leyva Picazo, M.D.I. Anelisse Yerett Oliveri Rivera y Arq. Graciela del Carmen Márquez Santoyo por su tiempo, ayuda y compartirme de su conocimiento para el proyecto de investigación.

Agradezco a los ponentes del diplomado en Diseño y composición paramétrica: M. Arq Salvador Amaro Rosas, M.D.I. Anelisse Yerett Oliveri Rivera y M.D.I. Daniel García Casarrubias por todo el apoyo y conocimiento que han proporcionado, y a la Ing. Guadalupe Murillo Flores de la Coordinación de Educación Continua por posibilitar la implementación de este tema en la UAQ.

Doy las gracias a todos los alumnos, administrativos, directivos y en general a toda persona que formó parte de este camino, ya que finalmente fue el esfuerzo colectivo lo que posibilitó esta gran experiencia.

Finalmente agradezco a mis amigos, colegas y compañeros de quienes he recibido el apoyo y compañía a lo largo del camino.

ÍNDICE

1.	Introducción	15
2.	Identificación del problema y justificación	17
3.	Marco Teórico	25
3.1.	Progreso tecnológico	25
3.2.	Orígenes del diseño paramétrico	29
3.3.	Definiciones del diseño paramétrico	37
3.4.	Diferencias entre diseño paramétrico y generativo	46
3.5.	Ventajas y desventajas del diseño paramétrico y generativo	49
3.6.	Paradigmas de programación y <i>Flow-Based Programming</i> (FBP)	54
3.7.	Building Information Modeling (BIM)	58
3.8.	Artificial Intelligence Building Information Modeling (AI BIM)	62
3.9.	Arquitectura efímera	63
3.10.	Fabricación digital e impresión 3D	65
3.11.	Herramientas digitales	66
3.11.1.	Rhinoceros 3D	67
3.11.2.	Grasshopper 3D	68
3.11.3.	ArchiCAD	70
3.11.4.	Conexión en vivo Grasshopper con ArchiCAD	71
3.12.	Transformación de roles	73
3.13.	Adopción académica	74
3.14.	Ejemplos de implementación académica	76
3.15.	Principios del diseño paramétrico	86
3.15.1.	Concepto complejo y en constante evolución	86
3.15.2.	Herramientas del pensamiento y computacionales	87
3.15.3.	Visualizar el sistema detrás de los resultados	88
3.15.4.	El problema cuenta con fuerzas contextuales	88
3.15.5.	Diseñar procesos más que resultados	89
3.15.6.	Visualizar la integración de subsistemas	89
3.15.7.	La geometría y la estética como resultado de un proceso	90
3.15.8.	Modificación de flujo de trabajo y roles	90
3.15.9.	La computación de los aspectos humanísticos	91

4.	Hipótesis y objetivos	91
5.	Metodología.....	92
5.1.	Preliminares	98
5.1.1.	Limitantes debido a la contingencia sanitaria	98
5.1.2.	Perfil del investigador	99
5.1.3.	Periodo de trabajo 2020-2021	99
5.1.4.	Consideraciones éticas.....	100
5.2.	Estudio de población.....	101
5.3.	Análisis de ejemplos análogos	103
5.3.1.	Metodología de referencia	103
5.3.2.	Parámetros de proyectos experimentales.....	107
5.4.	Prueba preliminar	112
5.5.	Evaluación prueba preliminar	119
5.6.	Planeación y organización del diplomado	120
5.6.1.	Módulo 1: Introducción y conceptos teóricos (10 horas).....	126
5.6.2.	Módulo 2: Rhinoceros + Grasshopper (30 horas).....	128
5.6.3.	Módulo 3: BIM Integrado (20 horas)	130
5.6.4.	Módulo 4: Fabricación Digital (20 horas).....	132
5.6.5.	Módulo 5: Proyecto Integrador (20 horas)	134
5.6.6.	Planteamientos adicionales	138
5.7.	Ejecución, dirección y control de diplomado.....	140
5.7.1.	Ejecución módulo 1: Introducción y conceptos teóricos (10 horas).....	140
5.7.2.	Ejecución módulo 2: Rhinoceros + Grasshopper (30 horas).....	144
5.7.3.	Ejecución módulo 3: BIM Integrado (20 horas)	146
5.7.4.	Ejecución módulo 4: Fabricación Digital (20 horas).....	148
5.7.5.	Ejecución módulo 5: Proyecto Integrador (20 horas).....	150
5.8.	Retroalimentación posterior.....	158
6.	Resultados.....	165
6.1.	Retroalimentación general licenciatura en arquitectura.....	166
6.1.1.	Apartado 1: Perfil del alumno	167
6.1.2.	Apartado 2: Carrera	169
6.1.3.	Apartado 3: Plan Curricular.....	171
6.1.4.	Apartado 4: Formación de habilidades	171

6.1.5.	Apartado 5: Docentes	172
6.1.6.	Apartado 6: Compañeros	174
6.1.7.	Apartado 7: Infraestructura	176
6.1.8.	Apartado 8: Directivos y administrativos	177
6.1.9.	Apartado 9: Modalidad virtual	178
6.2.	Retroalimentación de pruebas preliminares	179
6.3.	Prototipos preliminares	184
6.3.1.	Propuesta por equipos 2,6 y 10: <i>Pabellón Paramétrico</i>	185
6.3.2.	Propuesta por equipo 3: <i>Bio-Sa</i>	187
6.3.3.	Propuesta por equipos 4 y 10: <i>Celosía</i>	190
6.3.4.	Propuesta por equipos 5, 13 y 1: <i>Crisálida</i>	193
6.3.5.	Propuesta por equipos 7 y 15: <i>Expansión Sonora</i>	196
6.3.6.	Propuesta por equipo 8: <i>Lámpara TLETL</i>	198
6.3.7.	Propuesta por equipo 9 y 11: <i>CUBIERTA SIN</i>	201
6.3.8.	Propuesta por equipo 12: <i>ANTICUBIERTA</i>	203
6.3.9.	Propuesta por equipo 14: <i>OLA UAQ</i>	205
6.4.	Selección de prototipo final y rangos económicos	209
6.5.	Prototipos fabricados	212
6.5.1.	Proyecto Bio-Sa	213
6.5.2.	Proyecto Anticubierta	217
6.6.	Evaluación grupo experimental y control	222
6.6.1.	Apartado 1: Perfil del alumno	223
6.6.2.	Apartado 2: Herramientas digitales	225
6.6.3.	Apartado 3: Perspectiva del tema	227
6.6.4.	Apartado 4: Resolución de problemas formales	229
6.7.	Evaluación grupo experimental	233
6.7.1.	Apartado 5: Aplicación	233
6.7.2.	Apartado 6: Diplomado	236
6.8.	Comprobación de hipótesis	242
7.	Conclusiones	247
7.1.	Conclusiones generales	247
7.2.	Conclusiones sobre proyectos	249
7.3.	Conclusiones sobre el diplomado	251

7.4.	Consideraciones para futura implementación en la UAQ	253
7.5.	Futuras líneas de investigación	255
8.	Anexos.....	256
9.	Referencias.....	259

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Plan curricular ARQ-19 de la licenciatura en arquitectura de la UAQ, identificación de área de oportunidad y propuesta de integración y evolución. Fuente: Elaboración propia en base al plan curricular ARQ-19.	21
Figura 2:	Desarrollos tecnológicos significativos a lo largo de los años. Fuente: Futurizable (s.f.).....	26
Figura 3:	Desarrollos tecnológicos significativos en el sector AEC a lo largo de los años. Fuente: Dieter Vermeulen (s.f.).....	27
Figura 4:	Extracto de un ejemplo de la obra <i>Un sistema de mineralogía</i> que trata la descripción geométrica de formaciones cristalinas. Fuente: Dwight D. (1844).....	30
Figura 5:	Modelo de cadena colgante para el proyecto Colonia Güell desarrollado por el arquitecto español Antoni Gaudí.	31
Figura 6:	Modelo a escala para la obra Mannheim Multihalle desarrollado por el arquitecto alemán Frei Otto. Fuente: Lidell I. (2015)	33
Figura 7:	Modelo de superficie experimental a base de solución de agua y jabón. Fuente: Zexin y Mei (2017).....	34
Figura 8:	Estadio paramétrico diseñado por Luigi Moretti. Fuente: Bianconi et al. (2019)	36
Figura 9:	Exposición de Arquitectura Paramétrica en la Duodécima Trienal de Milán en 1960. Fuente: Bianconi et al. (2019).....	36
Figura 10:	Patrones identificados a problemas del contexto. Fuente: Restrepo (2020)	39
Figura 11:	Manifiesto parametricista expresado en caso de estudio de diseño urbano. Fuente: Schumacher (2008).....	41
Figura 12:	Extracto de vídeo ejemplar sobre el diseño generativo. Fuente: Autodesk (2016)	45
Figura 13:	Algoritmo básico para la generación de un cilindro, desarrollado con Grasshopper, un lenguaje de programación basado en flujo. Se puede interactuar de manera libre con los parámetros (Radio y Altura) para generar iteraciones en tiempo real. Fuente: elaboración propia.	47
Figura 14:	El mismo algoritmo a la figura 13 pero con la adición de Galapagos, un componente generativo que se vincula a los parámetros del cilindro y permite establecer un objetivo cuantificable. Este algoritmo por medio del objetivo de volumen y los parámetros que generan un cilindro, encuentra todas las combinaciones que se acercan a los 825 m3. Fuente: elaboración propia.	48
Figura 15:	Paradigmas de programación y sus subtipos. Fuente: IONOS (2020).....	55
Figura 16:	Principio del paradigma de programación basado en flujo. Fuente: Jpaulm (2013).....	57
Figura 17:	Ejemplo gráfico del <i>Building Information Modeling</i> . Fuente: Graphisoft (s.f.).....	59
Figura 18:	Desglose de las dimensiones del BIM. Fuente: ACCA (s.f.)	60
Figura 19:	Interfaz de Rhinoceros 3D. Fuente: elaboración propia.	68
Figura 20:	Interfaz de Grasshopper 3D (lado derecho) en comunicación simultánea con Rhinoceros 3D (lado izquierdo). Fuente: elaboración propia.....	69
Figura 21:	Interfaz de ArchiCAD que contiene ejemplo de un modelo BIM. Fuente: elaboración propia.	71
Figura 22:	Conexión en vivo entre ArchiCAD (superior izquierda), Grasshopper (derecha) y Rhinoceros (inferior izquierda). Fuente: elaboración propia.....	72
Figura 23:	Perspectiva sobre procesos integrados. Fuente: Holland (2011).....	74
Figura 24:	Integración de algoritmos computacionales. Fuente: Holland (2011)	74
Figura 25:	Extracto de los talleres llevados a cabo en la UGR. Fuente: Universidad de Granada (2012)	77
Figura 26:	Extracto del apartado de valoración. Fuente: Universidad de Granada (2012).....	78
Figura 27:	Pabellón <i>Bicho3</i> fabricado en corte a laser y otras técnicas por alumnos de la UDEM. Fuente: ArchDaily (2015).....	79
Figura 28:	Pabellón <i>Armadillo</i> fabricado en corte a laser y el manejo de otras técnicas por alumnos de la UPV. Fuente: ArchDaily (2015)	81
Figura 29:	Pabellón fabricado por alumnos del CUAAD en colaboración con el despacho <i>GGarchitects</i> . Fuente: CUAAD (2016)	82
Figura 30:	Pabellón <i>DIGFABMTY2.0</i> , fabricado por alumnos del EAAD. Fuente: Morfín (2015).....	83

Figura 31: Festival internacional de construcción Tongji. Fuente: SUAE (2019)	84
Figura 32: Planteamiento de los principios del diseño paramétrico, base conceptual para apoyar el proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.....	86
Figura 33: Planteamiento metodológico preliminar. Fuente: elaboración propia.....	94
Figura 34: Planteamiento metodológico preliminar. Fuente: elaboración propia.....	97
Figura 35: Cronograma de actividades para proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.	100
Figura 36: Análisis metodológico de la implementación dada en la UGR. Fuente: elaboración propia.....	104
Figura 37: Parámetros para fabricación de proyecto a escala real. Fuente: elaboración propia.....	108
Figura 38: Extracto del programa de la materia de Taller de proyecto ejecutivo 2 (laboratorio) con propuestas temáticas para las sesiones 7, 8 y 9. Fuente: elaboración propia.....	113
Figura 39: Revisión y ejecución de comandos básicos, primera actividad desarrollada con Rhinoceros. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020).....	114
Figura 40: Programación de algoritmo básico, primera actividad desarrollada con Grasshopper. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020).....	114
Figura 41: Desarrollo de algoritmo para el diseño de una fachada, sincronizando en vivo la información geométrica generada con Rhinoceros + Grasshopper a los elementos BIM de ArchiCAD. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020)	115
Figura 42: Actividad consistente en el trabajo de una plantilla para la vinculación de los diversos componentes BIM de ArchiCAD, bajo el flujo de información bidireccional. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020).....	116
Figura 43: Ejemplo de planteamientos y definiciones preliminares del proceso paramétrico previo a su respectiva programación para el desarrollo de una fachada envolvente. Fuente: Proyecto por Jaguey Velázquez Pedro Uriel (2020).....	117
Figura 44: Actividad final que consiste en replicar el comportamiento geométrico del Serpentine Pavilion 2016 por BIG, con el manejo de Rhinoceros, Grasshopper y la conexión en vivo con ArchiCAD. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020)	118
Figura 45: Póster difundido del diplomado en diseño y composición paramétrica. Fuente: Educación Continua Facultad de Ingeniería UAQ (2021)	122
Figura 46: Cronograma general del diplomado. Fuente: elaboración propia.	123
Figura 47: Dinámica general del diplomado, íntegra de los hitos más importantes para el correcto seguimiento del proyecto hasta su materialización final. Fuente: elaboración propia.	125
Figura 48: Dinámica propuesta para el módulo 1. Fuente: elaboración propia.	127
Figura 49: Dinámica propuesta para el módulo 2. Fuente: elaboración propia.	129
Figura 50: Dinámica propuesta para el módulo 3. Fuente: elaboración propia.	131
Figura 51: Dinámica propuesta para el módulo 4. Fuente: elaboración propia.	133
Figura 52: Dinámica propuesta para el módulo 5. Fuente: elaboración propia.	136
Figura 53: Dinámica adicional propuesta para el acercamiento a las propuestas de proyectos. Fuente: elaboración propia.	137
Figura 54: Propuesta inicial de entregables y ponderaciones. Fuente: elaboración propia.	139
Figura 55: Revisión de conceptos teóricos en el módulo 1. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	141
Figura 56: Parte de las diapositivas de la primera actividad, en esta categoría cada alumno -y en el espacio de una célula- planteó a modo gráfico una lluvia de ideas para el proyecto de diseño paramétrico, esto fue en función de sus intereses y perfil. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	142
Figura 57: Parte de las diapositivas de la primera actividad, en esta categoría el docente unificó los intereses e ideas potenciales de cada alumno para formar los primeros equipos de trabajo. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)	142
Figura 58: Extracto de diapositiva de la segunda actividad, en ésta se recopilaron las ideas individuales previamente planteadas y cada equipo de trabajo aterrizó un concepto más concreto con el manejo de herramientas expresivas a libertad de cada alumno, definiendo así los primeros parámetros de diseño para el proyecto. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	143
Figura 59: Desarrollo de sesiones y actividades prácticas sobre modelado 3D con la herramienta de Rhinoceros. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	144
Figura 60: Sesión para desarrollo de actividad sobre programación visual con la herramienta de Grasshopper. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	145
Figura 61: Revisión de avances y programación inicial de proyecto integrador a lo largo del diplomado. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	146

Figura 62: Una de las actividades que consiste en el desarrollo de una estructura generativa por medio de la conexión en vivo entre Rhinoceros, Grasshopper, ArchiCAD y la adición de Galapagos. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	147
Figura 63: Revisión de conceptos de asoleamiento y criterios sobre sustentabilidad con el manejo del plugin LadyBug, íntegro en la interfaz de Grasshopper. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)	148
Figura 64: Espacio de trabajo dedicado a la impresión 3D, ubicado en la escuela de Artes y Oficios en UAQ Campus Aeropuerto. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	149
Figura 65: Desarrollo de módulo 4, el cual se trabajó de modo presencial y en aforos reducidos. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	150
Figura 66: Se presentaron 9 proyectos a inicios del módulo 5, con cualidades y naturalezas distintas. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	151
Figura 67: De los nueve posibles proyectos, se eligieron dos denominados <i>Anticubierta</i> (mitad gráfico superior) y <i>Bio-sa</i> (mitad gráfico inferior) para ser materializados a escala real. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	152
Figura 68: Organización de equipos de trabajo y actividades, llevado a cabo en las aulas del edificio Biotecnológico de la UAQ. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	153
Figura 69: Equipo Bio-sa, desarrollando actividades de cortado, resanado, pulido, ensamble, entre otras en el espacio del CEDIT. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	154
Figura 70: Equipo Anticubierta, desarrollando procesos de ensamblaje con las piezas previamente cortadas a laser, esto dentro del espacio de la plaza del edificio I. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)	155
Figura 71: Póster difundido para el evento de exposición de proyectos, con la intención de dar cierre al diplomado bajo un acontecimiento formal. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	156
Figura 72: Los nueve equipos de trabajo conformados entre 2 a 4 personas expusieron sus proyectos en el aula del edificio Biotecnológico de la UAQ; el evento de culminación también se transmitió en redes sociales. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	156
Figura 73: Equipo Bio-Sa presentó su proyecto en el espacio de la plaza del edificio I. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	157
Figura 74: Equipo Anticubierta presentó su proyecto en el espacio de la plaza del edificio I. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	158
Figura 75: Propuesta del proyecto diseñado por los equipos 2, 6 y 10, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	185
Figura 76: Propuesta del proyecto diseñada por los equipos 2, 6 y 10, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	186
Figura 77: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 3, y plasmada en una lámina de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	188
Figura 78: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 3, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	189
Figura 79: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 4 y 10, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	191
Figura 80: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 4 y 10, materializada a escala en impresión 3D y con apoyo de técnicas manuales. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	191
Figura 81: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 5, 13 y 1, y plasmada en tres láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	193
Figura 82: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 5, 13 y 1, y plasmada en tres láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	194
Figura 83: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 5, 13 y 1, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	194
Figura 84: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 7 y 15, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	196
Figura 85: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 7 y 15, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	197
Figura 86: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 8, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	199
Figura 87: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 8, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	199
Figura 88: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 9 y 11, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	201

Figura 89: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 9 y 11, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	202
Figura 90: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 12, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	204
Figura 91: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 12, y materializada a escala por medio de impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	204
Figura 92: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 14, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	206
Figura 93: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 14, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	207
Figura 94: Propuesta original del proyecto, desarrollada por los integrantes del equipo 3. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	213
Figura 95: Propuesta adaptada del proyecto antes de su fabricación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	213
Figura 96: Una de las versiones del algoritmo desarrollado por el equipo Bio-Sa, el cual generó el mueble paramétrico junto a las piezas requeridas para su respectiva fabricación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	214
Figura 97: Las piezas cortadas en router CNC además requirieron posteriormente ser separadas por medio de cortes adicionales de las placas de madera, y cuidadosamente agrupadas para no generar confusión en su posterior ensamble. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	215
Figura 98: Una vez separadas e identificadas las piezas, se lijaron, pegaron y prensaron en módulos para posteriormente conformar bloques mayores del mueble. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	215
Figura 99: Resultado final del proyecto <i>Bio-Sa</i> . Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	216
Figura 100: Propuesta conceptual original del proyecto, desarrollada por los integrantes del equipo 12. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	217
Figura 101: Propuesta adaptada del proyecto antes de su fabricación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	217
Figura 102: Una de las versiones del algoritmo desarrollado para la fabricación del proyecto Anticubierta, hay que agregar que se programó un algoritmo adicional para el despiece de la base para su respectivo corte a laser. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	218
Figura 103: Las piezas de madera cortadas en laser disponían de la ventaja de ser ensamblables entre sí, permitiendo así un flujo de trabajo más rápido para el proyecto. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	219
Figura 104: Mientras que algunas piezas seguían todavía en proceso de fabricación, las ya terminadas permitían los avances en el ensamble del proyecto: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	219
Figura 105: Resultado final del proyecto Anticubierta. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	220
Figura 106: A diferencia del proyecto Bio-Sa, Anticubierta sufrió de un abandono por los integrantes del equipo y finalmente se recicló por la coordinación de la licenciatura en arquitectura. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	222
Figura 107: Gráficos de referencia que se presentó a los alumnos, conteniendo diversos ejemplos análogos de composiciones formales complejas asociadas al diseño paramétrico. Fuente: Elaboración propia en apoyo de Google Imágenes.	230
Figura 108: Carta de consentimiento informado para proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.	257
Figura 109: Carta de confidencialidad para proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.	258

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resumen de resultados sobre la consulta de los intereses en la carrera de los alumnos. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.	168
Gráfico 2: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos de las habilidades más relevantes para el entorno laboral al egresar. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.....	170
Gráfico 3: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos sobre las cualidades que definen a un buen docente. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.....	173

Gráfico 4: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos sobre las cualidades que los docentes de la carrera en arquitectura de la UAQ deben reforzar. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.	174
Gráfico 5: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos de las cualidades que definen a un buen compañero. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.	175
Gráfico 6: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos de cualidades la generación de la carrera en arquitectura de la UAQ puede reforzar. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.....	175
Gráfico 7: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo Pabellón Paramétrico. Fuente: elaboración propia.	187
Gráfico 8: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo Bio-Sa. Fuente: elaboración propia.	190
Gráfico 9: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo <i>Celosía</i> . Fuente: elaboración propia.	192
Gráfico 10: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo <i>Crisálida</i> . Fuente: elaboración propia.....	196
Gráfico 11: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo Expansión Sonora. Fuente: elaboración propia.....	198
Gráfico 12: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo <i>Lámpara TLETL</i> . Fuente: elaboración propia.....	200
Gráfico 13: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo <i>CUBIERTA SIN</i> . Fuente: elaboración propia.....	203
Gráfico 14: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo <i>ANTICUBIERTA</i> . Fuente: elaboración propia.....	205
Gráfico 15: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo <i>OLA UAQ</i> . Fuente: elaboración propia.....	208
Gráfico 16: Comparativa de características de todos los proyectos, en el que se puede observar que cada propuesta destaca mejor en ciertas cualidades a otras. Fuente: elaboración propia.....	209
Gráfico 17: Resultados de elección de proyecto para fabricación. Fuente: elaboración propia.	210
Gráfico 18: Resultados de consulta referente al monto adecuado de contribución económica por alumno para la materialización del proyecto. Fuente: elaboración propia.	212
Gráfico 19: Comparación del estado en la licenciatura del grupo experimental y control. Fuente: elaboración propia.	223
Gráfico 20: Comparación de intereses en el sector laboral de parte de los encuestados. Fuente: elaboración propia.	224
Gráfico 21: Comparación del manejo de herramientas digitales de ambos grupos. Fuente: elaboración propia.	225
Gráfico 22: Consulta a los encuestados por los posibles casos hipotéticos en donde considerarían emplear las técnicas del diseño paramétrico. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.	232
Gráfico 23: Parte 1 de comparaciones y observaciones más relevantes en la validación en el cumplimiento del objetivo general de la investigación. Fuente: elaboración propia.	244
Gráfico 24: Parte 2 de comparaciones y observaciones más relevantes en la validación en el cumplimiento del objetivo general de la investigación. Fuente: elaboración propia.	245
Gráfico 25: Resumen de incrementos y decrementos. Fuente: elaboración propia.	246

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Metodología propuesta para obtención de datos tanto a los participantes del diplomado como estudiantes que no han contado con un acercamiento al tema, junto a la identificación de los puntos y contrastes clave que permitan obtener resultados cuantificables como conclusiones. Fuente: elaboración propia.	165
Tabla 2: Control de aportaciones y gastos implícitos para la fabricación del proyecto Bio-Sa. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	216
Tabla 3: Control de gastos para la fabricación de los proyectos <i>Bio-Sa</i> y <i>Anticubierto</i> . Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021).....	221

Resumen

La evolución tecnológica presenta nuevas oportunidades con el potencial de reforzar los modelos educativos para denotar mejoras en las formas de crear arquitectura, y uno de estos avances se da con el diseño paramétrico, un tema con el potencial de permitir a las siguientes generaciones de alumnos de arquitectura diversificar la exploración geométrica en el diseño de proyectos arquitectónicos.

Es por esto que el objetivo de la investigación se plantea con el fin de sensibilizar a los alumnos de la licenciatura en arquitectura de la UAQ (Universidad Autónoma de Querétaro) por medio de la implementación de una aproximación metodológica para la diversificación de geometrías formales en el diseño de proyectos arquitectónicos; dicha aproximación metodológica se da con la visión de generar información que facilite en el corto y largo plazo la implementación del tema del diseño paramétrico por medio de diversas posibilidades internas y externas a la institución académica.

A lo largo de la investigación se realizó un estudio de población, se analizaron y sintetizaron conceptos relevantes del tema, se hizo una prueba preliminar que posteriormente evolucionó a la prueba definitiva dada por medio del desarrollo de un diplomado, por último, se realizaron observaciones a los resultados del diplomado y participantes para recuperar toda información que permitiera retroalimentar los parámetros empleados en la aproximación metodológica.

Finalmente, se presentan observaciones, datos y material con la finalidad de facilitar la implementación del aprendizaje del diseño paramétrico en el entorno educativo, lo que fue resultado de una metodología aplicable por medio de un diplomado llevado a cabo en la UAQ, los 9 prototipos experimentales diseñados junto a los 2 fabricados a escala real y la retroalimentación generada de parte de los participantes del diplomado, permitiendo finalmente observar contrastes clave en la sensibilización de los alumnos por el tema del diseño paramétrico.

Palabras clave: aproximación metodológica, arquitectura, diseño paramétrico, educación, herramientas digitales.

Summary

Technological evolution presents new opportunities with the potential to reinforce educational models to denote improvements in the ways of creating architecture, and one of these advances occurs with parametric design, a subject with the potential to allow the next generations of students of architecture diversify geometric exploration in the design of architectural projects.

That is why the objective of the research was proposed in order to sensitize the students of the UAQ architecture degree through the implementation of a methodological approach for the diversification of formal geometries in the design of architectural projects; this methodological approach is given with the vision of generating information that facilitates in the short and long term the implementation of the subject of parametric design through various internal and external possibilities to the academic institution.

Throughout the investigation, a population study was carried out, relevant concepts of the subject were analyzed and synthesized, a preliminary test was made that later evolved to the definitive one given through the development of a diploma course, finally, observations were made to the results of the course and participants to retrieve all information that would allow feedback on the parameters used in the methodological approach.

Finally, observations, data and material are presented in order to facilitate the implementation of parametric design learning in the educational environment, which was the result of an applicable methodology through a diploma course carried out at the UAQ (Autonomous University of Querétaro), the 9 experimental prototypes designed together with the 2 manufactured on a real scale and the feedback generated from the participants of the diploma course, finally allowing us to observe key contrasts in the students' awareness of the subject of parametric design.

Keywords: architecture, digital tools, education, methodological approach, parametric design.

1. Introducción

El progreso tecnológico ha adoptado un ritmo de evolución significativo en las últimas décadas, presentando así nuevas oportunidades y herramientas para que los arquitectos y diseñadores las implementen para reestructurar su forma de trabajo; una de estas oportunidades se da por medio del diseño paramétrico, tema que se manifiesta no sólo como una herramienta sino como toda una forma de pensar y trabajar con el potencial de sensibilizar futuros procesos de diseño para optimizarlos y permitir a los profesionistas expandir su vocabulario de diseño.

Mientras que el contexto laboral se conforma por diversos factores que impactan en el ritmo de adopción e implementación de las nuevas herramientas y técnicas de trabajo, un punto particular de intervención se observa en los procesos educativos de las instituciones, con el potencial de que su intervención sensibilice las nuevas generaciones de arquitectos y diseñadores para que consideren las nacientes formas de trabajo en su modelo de trabajo personal, y en el largo plazo expandan éstas a los grupos de trabajo del entorno profesional generando así un estímulo más al contexto laboral en la adopción de las nuevas tecnologías.

Es por ello que el objetivo de la investigación se plantea con el fin de sensibilizar a los alumnos de la licenciatura en arquitectura de la UAQ (Universidad Autónoma de Querétaro) -como caso de estudio particular de la presente investigación- por medio de la implementación de una aproximación metodológica para la diversificación de geometrías formales en el diseño de proyectos arquitectónicos, con la visión de, además de estimular el contexto profesional con la nueva generación de profesionistas, generar y documentar información sobre una aproximación metodológica que permita facilitar la implementación de la enseñanza del diseño paramétrico en las instituciones educativas tanto públicas como privadas, sea esto por medio de la planeación, organización y ejecución de actividades extracurriculares de corto plazo como pueden ser talleres, cursos o diplomados, o la consideración a largo plazo con la implementación de este tema por medio de nuevas materias implícitas en la reestructuración de futuros planes curriculares de una carrera.

La investigación da inicio con la descripción de las inquietudes que originaron la necesidad de explorar el tema, la identificación del problema con la delimitación de las oportunidades dadas a partir de un contexto general hasta llegar a uno particular, la descripción de los puntos más relevantes observados a partir de la consulta de documentos referentes a la carrera de arquitectura de la UAQ que permitieron no sólo identificar el problema sino tener mayor claridad de los beneficios esperados, y finalmente, se exploran diversos argumentos que suman la necesidad de explorar dicho tema para llevar a cabo el proyecto de investigación.

Posteriormente y en el apartado del marco teórico, se exploran los diversos conceptos relativos al diseño paramétrico y generativo que van desde sus orígenes, evolución tecnológica, definiciones, modelos de pensamiento, aplicaciones, conceptos adicionales que van de la mano, ejemplos análogos, herramientas de trabajo relevantes, casos de adopción en los sectores educativos, y finalmente los principios más importantes del tema considerados para el proyecto de investigación particular.

Antes de proceder con la metodología se describen la hipótesis, el objetivo general y los objetivos particulares del proyecto de investigación, y una vez en cuenta estos datos, se procede con el apartado de metodología en el cual se explican los primeros pasos realizados para la investigación con la generación de una lluvia de ideas que finalmente se aterrizó en un eje metodológico rector, los procesos preliminares considerados para la investigación, aclarando desde un principio que este proyecto se vio afectado más no del todo limitado por la crisis sanitaria originada por el COVID-19 lo cual ocasionó una imponentia de las soluciones digitales por encima de las presenciales, se explican también los procesos implícitos para el estudio de la población, se detallan los parámetros más relevantes considerados para la investigación a partir del análisis de casos de estudio, se describe el proceso de la prueba preliminar -o dicho de otro modo, un *experimento del experimento*- junto a la retroalimentación de ésta una vez concluida, la planeación, organización, dirección y control de la aproximación metodológica planteada por medio de un diplomado llevado a cabo en la UAQ, y finalmente se describen los procesos implícitos de la retroalimentación posterior que permitió la obtención de resultados.

En el bloque que trata los resultados, se inicia con una descripción de los parámetros más relevantes a partir del análisis de la carrera en arquitectura de la UAQ junto a la población que la compone, se procede con la descripción de lo observado a partir de las pruebas preliminares que sumó para la planeación del diplomado, se continua con la descripción de los nueve prototipos preliminares diseñados por los alumnos a lo largo del curso junto a la descripción de las cualidades de cada uno, en un breve apartado se dan a conocer los criterios de selección y rangos económicos predispuestos para la fabricación de los proyectos, posteriormente se describen los procesos y resultados obtenidos a partir de la materialización de los dos proyectos seleccionados para finalmente, describir las observaciones más relevantes a partir de la comparación de resultados obtenidos de las retroalimentaciones generadas al grupo experimental y control.

Una vez terminado el bloque de resultados, se procede al de conclusiones en el que se describen las observaciones generales del proyecto de investigación, particulares a puntos concretos como lo fue el diplomado, las áreas de oportunidad junto a observaciones adicionales, la aproximación adecuada para generar una implementación en el plan curricular de la carrera en arquitectura de la UAQ, y finalmente se describen líneas de investigación con oportunidad de expandir el tema aún más a futuro.

Además del contenido descrito previamente, se incluyen al final anexos y formatos que pretenden servir de base y referencia para facilitar futuras investigaciones, planeaciones o implementaciones similares al de la realizada en la presente investigación; por último, hay que agregar que en términos generales se buscó manejar un lenguaje lo más gráfico posible a lo largo del proceso de documentación con el fin de facilitar la consulta de información de este documento.

2. Identificación del problema y justificación

La investigación nace a partir de la inquietud que se tiene por el constante progreso tecnológico -punto que se abarca a mayor detalle en posteriores apartados- junto a la

necesidad de impulsar la adopción de las nuevas oportunidades que son producto de este desarrollo en un entorno exclusivo. Mientras que el campo tecnológico tiene un panorama amplio y complejo, se observa que un entorno particular que se puede atacar nace en el sector educativo, específicamente hablando, en la carrera de la licenciatura en arquitectura de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), en la cual, cada 6 años se actualiza y se reestructura el plan de estudios. Además y como lo indica el documento referente a la reestructuración y cambio de nomenclatura de la licenciatura en arquitectura (Universidad Autónoma de Querétaro, 2019), la matrícula ha tenido un aumento constante durante los últimos años, por lo que después de seis años es importante adecuar el plan de estudios a las dinámicas y condicionantes emergentes del entorno académico y profesional, con el fin de equilibrar y subsanar carencias, inconsistencias junto a la valoración de los aciertos referentes a la carrera.

Con el fin de comprender un poco mejor el contexto particular para la identificación del problema que presente investigación atacará, se consultaron diversos documentos que abarcan el origen, desarrollo, seguimiento, planeación, futuro entre otros puntos destacados de la licenciatura en arquitectura de la UAQ, y se obtuvo acceso específicamente a 3 documentos clave.

El primero denominado como *Proyecto de creación de la licenciatura en arquitectura con líneas terminales en: Diseño Urbano, Estética del Espacio y Diseño Bioclimático* presentado en septiembre de 2012 ante el Honorable Consejo Universitario de la UAQ (Universidad Autónoma de Querétaro, 2012), este documento comprende los lineamientos con el fin de haber arrancado exitosamente la carrera de arquitectura por primera ocasión en la facultad de ingeniería; asimismo, se observa el planteamiento de la primera versión del plan curricular ARQ-12 en función de múltiples fundamentos y bases que se documentan a lo largo del escrito. Este plan define tres líneas terminales para la carrera y cada una con sus campos temáticos particulares, lo cual comprendió la importancia de articular el tema de la presente investigación con algunos puntos de interés específicos de los estudiantes que cursan las líneas terminales, aclarando que al momento de haber desarrollado la presente investigación la población a intervenir seguía formando parte del plan curricular mencionado.

El segundo documento que se consultó fue el *PLAN DE DESARROLLO: Licenciatura en arquitectura 2018-2023* (Universidad Autónoma de Querétaro, 2018), el cual comprende la misión, visión, valores, la demanda y el entorno laboral que fundamentan la necesidad de la carrera en arquitectura, las diversas competencias y comparaciones con otros entornos educativos, entre puntos adicionales que fundamentan el desarrollo de la licenciatura. También resalta el crecimiento de cada año, en el que en febrero 2018 se inscribieron al curso propedéutico -y sumando estudiantes que realizan el examen equivalente- aproximadamente 500 aspirantes -cifra que en fechas posteriores continuó creciendo-; asimismo redacta las pautas de crecimiento a lo largo de 5 años para la carrera, de las cuales, algunas incluyen un despacho de arquitectura, la obtención de distintas certificaciones como lo es de parte de los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES), la reestructuración de la licenciatura en arquitectura bajo plan curricular ARQ-19, el mejoramiento de la eficiencia terminal, incremento en la calidad académica, entre otros aspectos que se alinean con la investigación, esperando que ésta también presente un aporte significativo que fortalezca algunos de los objetivos planteados para los próximos años.

El tercer documento revisado fue el de *Reestructuración y cambio de nomenclatura de la Licenciatura en Arquitectura* (Universidad Autónoma de Querétaro, 2019), el cual genera un acercamiento al nuevo plan curricular ARQ-19 dando inicio su respectiva implementación con la generación de estudiantes del primer semestre en el año 2019 - es importante recalcar que en paralelo y en aquel entonces, las generaciones de segundo a décimo semestre continuaron trabajando bajo el plan ARQ-12-. Este plan tendrá vigencia para el periodo 2019 – 2024, lo cual presenta una oportunidad a largo plazo que permite la implementación del presente proyecto de investigación al considerar que cerca del año 2024 se dará nuevamente una retroalimentación y reestructuración de la carrera en arquitectura, esperando que la investigación funcione como una de las bases para fundamentar la toma de decisiones para la planeación de futuras materias en relación al tema. Por último, el documento también expresa una detallada serie de lineamientos a seguir para la ejecución de cada materia que conforma el plan curricular, lo cual permitió observar algunas oportunidades de articulación de la presente

investigación con las materias que conforman la carrera, para tener en consideración algunos aspectos en la posibilidad de una implementación a largo plazo.

Una vez revisados los escritos, se observa que cada plan curricular tanto ARQ-12 como ARQ-19 cuenta con sus virtudes y áreas de oportunidad, y teniendo en consideración que aproximadamente cada 6 años se reestructura nuevamente el modelo educacional que incluye adaptaciones con el fin de beneficiar la licenciatura y enmarcarla a las demandas del contexto laboral, se puede considerar que eventualmente la carrera requerirá responder ante el surgimiento de las nuevas oportunidades tecnológicas particulares, a las cuales la investigación pretende presentar para su debido momento un aporte con información que facilite la inclusión y conformación de materias que contengan nuevos modelos de trabajo a partir de técnicas y herramientas particulares.

Asimismo, se consultó el plan curricular ARQ-19 con el fin de identificar cómo es que éste tiene la oportunidad de articular las nuevas herramientas tecnológicas a base de la configuración temática existente, y se observa que hay materias que toman parte de una línea de aprendizaje en la generación y búsqueda de la forma, denominadas *Composición* la cual está seriada posteriormente con *Forma y estructura*. Mientras que en el plan actual sólo se manejan 2 materias en relación a dicho tópico, existe la oportunidad de que esta directriz se expanda o fortifique en el largo plazo con nuevas asignaturas que profundicen y complementen aún más la exploración temática con la integración de técnicas paramétricas basadas en métodos y herramientas que la presente investigación pretende explorar. Inclusive se percibe la posibilidad de integrar series de materias como *Herramientas digitales para arquitectura* de la mano de tópicos de exploración formal con el fin de manejar un esquema de aprendizaje híbrido entre lo teórico y práctico; además, si se genera una conexión de materias de la línea de *Diseño y proyectos* se puede expandir más la experiencia de aprendizaje permitiendo que la teoría y práctica se aplique en un caso de diseño de proyecto arquitectónico para propiciar una experiencia más integradora. En resumidas cuentas y como se puede observar en la *Figura 01*, existen diversas oportunidades para la articulación de los conceptos que la presente investigación pretende explorar con lo que es el plan curricular de la licenciatura en arquitectura, aportando así información que permita funcionar de

base para la continua mejora y evolución de la carrera en arquitectura en el corto y largo plazo.

	1s	2s	3s	4s	5s	6s
DISEÑO Y PROYECTOS	Diseño arquitectónico I 3 3 2 0 9	Diseño arquitectónico II 3 3 2 0 9	Taller de proyecto arquitectónico I 2 4 2 0 9	Taller de proyecto arquitectónico I 2 4 2 0 9	Taller de proyecto arquitectónico III 2 4 2 0 9	Taller de proyecto arquitectónico IV 2 4 2 0 9
	Composición 1 2 1 0 4	Forma y estructura 1 2 1 0 4				
TECNOLOGÍAS	Matemáticas para arquitectura 4 1 0 0 6	Fundamentos de análisis estructural 4 0 0 0 5				
			Materiales y procesos constructivos 4 2 0 0 7	Instalaciones I 3 1 0 0 5	Instalaciones II 3 1 0 0 5	Tecnologías y materiales para la construcción 4 2 0 0 7
TEORÍA E HISTORIA	Historia de la arquitectura I 3 0 0 0 3	Historia de la arquitectura II 3 0 0 0 3	Historia de la arquitectura III 3 0 0 0 3	Historia de la arquitectura IV 3 0 0 0 3	Conservación del patrimonio 3 0 0 0 3	
				Teoría de la arquitectura I 3 0 0 0 3	Teoría de la arquitectura II 3 0 0 0 3	
COMUNICACIÓN	Geometría descriptiva 3 3 0 0 7	Dibujo técnico 3 3 0 0 7	Taller de maquetas 1 3 0 0 5			Difusión del proyecto 3 0 0 0 3
		Expresión gráfica 1 3 0 0 5	Herramientas digitales para arquitectura I 0 4 0 0 5	Herramientas digitales para arquitectura II 0 4 0 0 5	Herramientas digitales para arquitectura III 0 4 0 0 5	

Figura 1: Plan curricular ARQ-19 de la licenciatura en arquitectura de la UAQ, identificación de área de oportunidad y propuesta de integración y evolución. Fuente: Elaboración propia en base al plan curricular ARQ-19.

Considerando que la definición metodológica de toda una estrategia a largo plazo involucra un panorama amplio y complejo que se sitúa fuera del rango de tiempo del que dispone la presente investigación, se contempla el desarrollo de una aproximación metodológica para la implementación en el corto plazo de un punto tecnológico que se articula con la línea de aprendizaje que se pretende explorar, el cual es el tema del diseño paramétrico -campo temático que se profundiza a lo largo de la investigación-.

Dicha aproximación metodológica se plantea con la visión de que permita aportar una base para la evolución de materias implícitas en la línea de aprendizaje de la generación y búsqueda de la forma del plan curricular, como lo son actividades externas al plan curricular de la licenciatura pero que toman vida en el contexto de la UAQ; como lo puede ser la decisión de fortificar las asignaturas existentes del plan curricular ARQ-19, agregar

nuevas asignaturas que se articulen con otras en futuras reestructuraciones de planes curriculares, la organización de cursos y diplomados externos, entre todo tipo de actividades que impliquen el trato de alumnos y el empleo de las técnicas y herramientas que se exploran en el presente documento.

Considerando que se pretende el desarrollo de una aproximación metodológica que sirva como una base para la organización de diversas futuras actividades, uno de los puntos explorados fue el motivo por el cual se pretende la implementación del tema del diseño paramétrico en el contexto de la licenciatura de la UAQ. Y entre las áreas de oportunidad observadas tanto en el plan curricular como la visión de los beneficios esperados a largo plazo -recordando que esto todavía presenta un panorama amplio y complejo para el rango de tiempo del que dispone la investigación-, un área de oportunidad todavía más específica que se identificó en los alumnos de la licenciatura de la UAQ, fue la monotonía de exploración formal empleada para el diseño de proyectos arquitectónicos; ya que se observó un patrón en la composición geométrica con el apego a la ortogonalidad, en el que sólo una parte exclusiva de proyectos de diseño rompen estos patrones formales para la exploración e implementación de geometrías oblicuas, orgánicas, paramétricas u más complejas.

Mientras que una monotonía formal no es necesariamente algo negativo en sí, se puede decir que el área de oportunidad es más bien el desaprovechamiento de técnicas y herramientas que apertura el vocabulario de diseño con el potencial de posibilitar propuestas de diseño arquitectónico superiores en sus aspectos morfofuncionales a las composiciones observadas bajo patrones formales asemejados a la ortogonalidad; en concreto, un desaprovechamiento de oportunidades formales.

A lo cual el *problema de investigación* se planteó del siguiente modo:

Desaprovechamiento de oportunidades geométricas para el diseño de proyectos de diseño de parte de los alumnos de la licenciatura en arquitectura de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Una vez identificado el problema específico que se busca atacar en conjunto con la visión y las contribuciones que la presente investigación pretende aportar en el corto y largo

plazo a partir de la resolución de dicho conflicto, algunas ideas adicionales que suman motivos -además de los que se mencionaron anteriormente- para la realización del proyecto de investigación, destaca la publicación de *Temas tácitos en la educación arquitectónica UIAE2014*, en la cual se expresa que (Chokhachian, 2014) los diseñadores de hoy no pueden ser entrenados para adecuarse a un conjunto de procedimientos debido a que el ritmo del mundo los dejaría atrás, agrega también que no se puede continuar sumergiendo al estudiante de arquitectura en oficios tradicionales sino que más bien deben aprender a apreciar y explotar la nueva tecnología a medida que se desarrolla.

Otra idea destaca también con la publicación de *Transacciones mundiales sobre educación en ingeniería y tecnología 17(4)*, en la que se expresa (Radziszewski & Cudzik, 2019, pág. 453) que la arquitectura contemporánea trasciende cambios rápidos basados en el desarrollo constante de las herramientas de diseño entre las diversas tecnologías emergentes, agrega también que para enfrentar esto es necesario dominar las herramientas de diseño actualizadas y entender cómo usarlas de modo eficiente, lo cual representa asimismo una de las tareas actuales de la educación arquitectónica; añade que para enseñar diseño paramétrico, se involucran muchas etapas que van desde una introducción básica al diseño hasta la fabricación digital, y finalmente expresa que sólo esta experiencia completa puede mostrar adecuadamente a los estudiantes el potencial detrás de las herramientas de diseño algorítmico.

Como lo expresan los escritos, hay que considerar que las escuelas de arquitectura eventualmente trascenderán un cambio en el que requerirán implementar nuevas oportunidades tecnológicas para permitir a los alumnos la adopción de nuevas posibilidades de diseño; y como lo comentaron Radziszewski y Cudzik, es una experiencia completa desde puntos teóricos, prácticos hasta integradores por medio de la fabricación digital lo que demostrará el potencial que tienen el diseño paramétrico y las herramientas algorítmicas para el diseño de proyectos, motivo por el cual la presente investigación alinea un enfoque pragmático con la visión de generar una aproximación metodológica que además de incluir cuestiones teóricas, las implemente en casos prácticos e integradores.

Mientras que se tiene identificado el problema particular junto a la visión y motivos que sustentan la realización del proyecto de investigación, un cuestionamiento crítico que puede surgir es la necesidad de investigar otra presente aproximación metodológica cuando es posible que mismo tema ya se resolvió en otras partes del mundo. Hay que tener presente que un modelo metodológico o *receta* -dicho de un modo- puede que funcione para un determinado entorno, es posible que no lo haga para otro; debido a que existen factores económicos, sociales, culturales, geográficos, entre otros que distinguen y delimitan el acercamiento que se tiene por un tema situado en un lugar. Ejemplificando, mientras que el aprendizaje del diseño paramétrico junto al desarrollo y la materialización de un proyecto integrador en escala real por medio de una metodología establecida puede que funcione en ciertas instituciones universitarias en España, organismos que cuentan con la infraestructura, equipo y recurso necesario para llevar a cabo este tipo de implementaciones, es posible que no lo haga del mismo modo para el contexto universitario de la UAQ debido a que este entorno presenta factores distintos al de Europa y que generan tanto constricciones como oportunidades distintas.

Una idea que suma a lo anteriormente explicado -de observar cómo se articula un concepto con un contexto determinado- se exhibe por Ludwig Von Bertalanffy -filósofo austríaco-, quien en su libro *Teoría general de los sistemas* expresa:

En las últimas décadas hemos asistido al surgimiento del «sistema» como concepto clave en la investigación científica. Ni que decir tiene, desde hace siglos que se estudian sistemas, pero ha sido agregado algo nuevo... La tendencia a estudiar sistemas como entidades más que como conglomerados de partes es congruente con la tendencia de la ciencia contemporánea a no aislar ya fenómenos en contextos estrechamente confinados sino, al contrario, abrir interacciones para examinarlas y examinar segmentos de la naturaleza cada vez mayores (Bertalanffy, 1968, pág. 8).

Y es por ello que justamente esta idea se convierte en otro de los motivos base con los cuáles se fundamenta la realización de la investigación, con el fin de generar y observar todo tipo de interacciones de la aproximación metodológica a desarrollar para el contexto de la UAQ, para finalmente descubrir cuáles aspectos del modelo metodológico funcionan, cuáles se pueden reestructurar y reforzar, cuáles no funcionan y presentan áreas de oportunidad entre toda información que suma a la visión de largo plazo que

consiste en facilitar la implementación del punto tecnológico en la entidad universitaria de la UAQ.

3. Marco Teórico

3.1. Progreso tecnológico

Nos situamos en un contexto complejo que sobrelleva una tremenda evolución y presenta nuevas oportunidades que transforman nuestro modelo de vida diario, un momento en el que la digitalización y los avances computacionales han dominado el entorno diario, y antes de tocar puntos tecnológicos específicos que la presente investigación pretende explorar hay que primeramente reflexionar sobre algunos de los motivos que han sumado para que las oportunidades tecnológicas explotaran en las últimas décadas.

Uno de estos motivos se puede observar con la idea de Kurzweil (2001) quien expresa que: “La tecnología va más allá de la mera fabricación de herramientas; es un proceso de creación de tecnología cada vez más poderosa utilizando las herramientas de la ronda anterior de innovación”; este concepto pone en perspectiva la capacidad evolutiva de la tecnología y permite conocer uno de los motivos detrás del boom de las últimas décadas, como se puede observar en la figura 02. Esta capacidad se puede asimilar a los procesos biológicos, en donde las nuevas descendencias de seres vivos mutan e innovan su propio organismo grabando la *nueva tecnología* en el ADN de la especie ocasionando que las siguientes generaciones, al nacer se basen en un progreso dado por sus ancestros en vez de innovar desde ceros, lo mismo sucede con la evolución tecnológica ya que como bien lo expresa Kurzweil, se manejan constantemente nuevas herramientas para innovar y progresar futuros instrumentos.

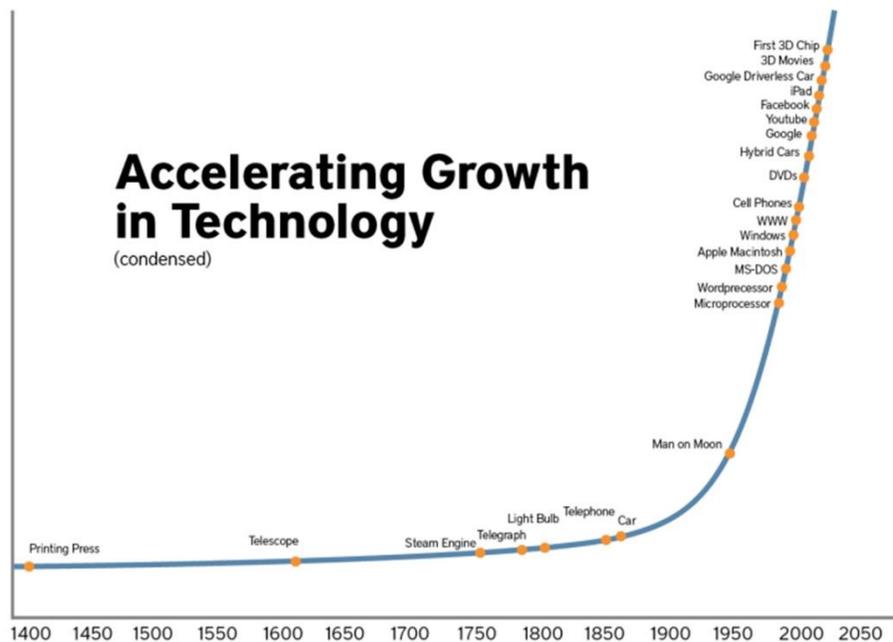


Figura 2: Desarrollos tecnológicos significativos a lo largo de los años. Fuente: Futurizable (s.f.).

Asimismo, Moore (2006, pág. 61) -cofundador de la compañía Intel®- expresa otra idea que suma a lo previamente descrito: “La complejidad de los circuitos integrados se ha duplicado aproximadamente cada año desde su introducción. El costo por función se ha reducido miles de veces, mientras que el rendimiento y la confiabilidad del sistema han mejorado drásticamente.”; mientras que la idea de Kurzweil aproxima uno de los motivos por los cuales el progreso tecnológico se acelera visto desde un panorama general, la afirmación de Moore refleja este mismo efecto dentro de un sector más específico como lo es el computacional, permitiendo así que nuevas oportunidades computacionales surjan gracias a la superioridad en complejidad que han presentado las nuevas generaciones de equipos computacionales; este efecto se puede visualizar en la actualidad con el progreso que han exhibido los dispositivos móviles, ya que en el lapso de una década han evolucionado lo suficiente sus capacidades de procesamiento que ciertos dispositivos móviles del presente asimilan o inclusive superan la capacidad de equipos de cómputo de hace una década.

Del mismo modo, todo esto ha sumado a las nuevas oportunidades que han nacido para el sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción, o mejor conocido en inglés por *Architecture, Engineering & Construction*), varias de las cuales se pueden observar en la figura 03 como lo son las tecnologías CAD (Diseño asistido por computadora, o mejor conocido en inglés por *Computer Aided Design*), CAM (Fabricación asistida por computadora, o mejor conocido en inglés por *Computer Aided Manufacturing*), el parametricismo, la metodología de trabajo BIM (Modelado de información de la construcción, o mejor conocido en inglés por *Building Information Modeling*), el modelado algorítmico, los procesos de interoperabilidad entre diversas herramientas computacionales, la fotogrametría, el AI BIM (BIM asistido por inteligencia artificial, o mejor conocido en inglés como *Artificial Intelligence Building Information Modeling*), el diseño paramétrico y generativo, IOT (Internet de las cosas, o mejor conocido en inglés por *Internet Of Things*), entre diversas otras oportunidades que han permitido a los diseñadores del futuro explotar notablemente las capacidades de diseño y producción.

Accelerating Growth in AEC Technology

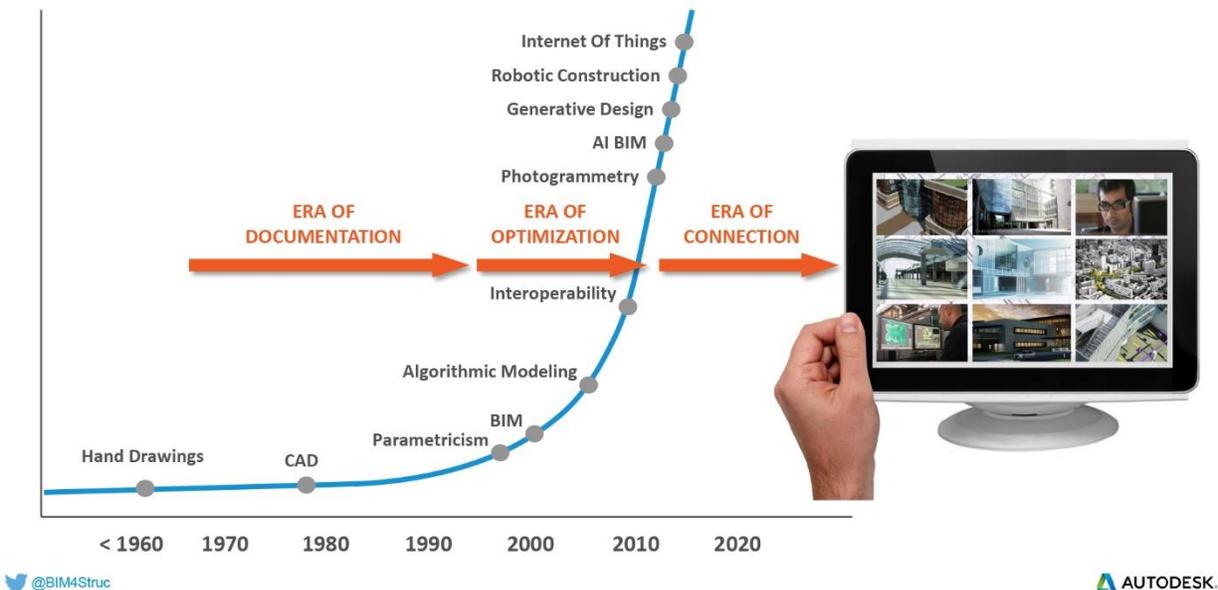


Figura 3: Desarrollos tecnológicos significativos en el sector AEC a lo largo de los años. Fuente: Dieter Vermeulen (s.f.)

Dicho lo anterior, actualmente existen herramientas tecnológicas, métodos, técnicas, metodologías de trabajo, entre todo tipo de posibilidades que generan una variedad de oportunidades para el diseño y la construcción gracias a la potencialización y la automatización de procesos laborales que anteriormente los agentes intervinientes de un proyecto debían atender de modo manual. Mientras que unos puntos tecnológicos son más influyentes que otros, los conceptos principales que la presente investigación pretende profundizar son el diseño paramétrico y generativo, sumados éstos con otros temas como lo son el BIM, AI BIM, arquitectura efímera, fabricación digital, impresión 3D, entre otros.

Cuando se explora el concepto del diseño paramétrico junto a sus derivadas, antes de reflexionar los principios de la actualidad, hay que primeramente generar un acercamiento a sus orígenes históricos, para posteriormente, reflexionar sobre las ideas y los conceptos que construyen uno de los ejes de referencia para la presente investigación. Aunque distintos autores emplean términos como el diseño paramétrico, diseño generativo, parametricismo, diseño algorítmico entre distintas expresiones que hacen énfasis en características particulares de una subrama temática, en la presente investigación se maneja a menudo el término *Diseño Paramétrico*, debido a que éste ha generado más eco en el mundo que otras expresiones, y por otro lado, para hacer referencia a la ideología que se pretende adoptar para la investigación, compuesta por la dimensión del pensamiento y la extensión de las herramientas paramétricas.

En la actualidad, aunque el concepto se presenta y se facilita por medio de herramientas digitales como lo son Grasshopper®, Dynamo®, VizPro®, Fusion 360® entre otras alternativas que generan geometrías oblicuas y llamativas al ojo del espectador, es importante aclarar que el diseño paramétrico no sólo forma parte de una naturaleza digital, principio geométrico o estético, sino que compone una naturaleza de pensamiento compleja, y sobre todo, dinámica, al ser un tema que está en constante evolución debido al progreso tecnológico. Puesto que el diseño paramétrico se puede exponer desde diversas perspectivas basadas en un cambio de paradigma, herramienta epistemológica, digital, movimiento estético, abstracción, composición geométrica, entre otras que comparten la esencia del tema, la presente investigación explora diversas ideas y no sólo

una, para sintetizar e integrarlas para finalmente componer un eje de referencia de los principios más importantes a emplear para comprender el tema.

3.2. Orígenes del diseño paramétrico

Cuando se exploran los orígenes del diseño paramétrico, la idea nace desde antes de que fuera posible integrar los procesos computacionales y digitales, como lo expone Davis (2013) el término *paramétrico* se origina en la disciplina matemática, su empleo observado primeramente en los trabajos de parte de John Leslie en 1821 y Samuel Earnshaw en 1839, también se puede visualizar este término en los trabajos de James Dwight Dana -geólogo y mineralogista- en 1844; aunque es complejo deducir quién fue definitivamente el primer autor en manejar este término -y es muy probable que existan obras de más tiempo atrás que ya usaban el término paramétrico-, se tomarán de referencia estos trabajos como punto de partida ya que delimitan y siembran las primeras ideas de pensamiento del diseño paramétrico.

Un ejemplo en el manejo de este término se observa en la obra titulada *Análisis Geométrico y Geometría de Líneas Curvas* por Leslie, quien en un párrafo en la página 390 describe cómo trazar una curva abscisa por medio de la vinculación de distintas partes matemáticas a otros parámetros y círculos paramétricos. A lo largo de su obra, Leslie maneja el término *paramétrico* en un sentido matemático, para hacer referencia a las restricciones generadas entre las distintas partes geométricas de un elemento matemático; de tal forma que, si el usuario sigue las instrucciones y modifica las variables matemáticas vinculadas a los parámetros, el resultado afectará simultáneamente a los distintos cuerpos geométricos generando así todo un nuevo resultado (Davis, 2013).

Otro ejemplo se ilustra en la obra titulada *Un sistema de mineralogía* redactada por Dana en 1844, en el que de manera similar se presentan instrucciones al usuario para la descripción geométrica de una gama de cristales -uno de estos que se puede visualizar en la figura 04- con el empleo de un lenguaje matemático y entretelado con variables, proporciones y sobre todo parámetros (Davis, 2013).

l. Figs. 1, 29, 30, and the annexed. Observed planes

also
gles
lral,
me-
al-
s in

4·5,
aid-
lar-
in-

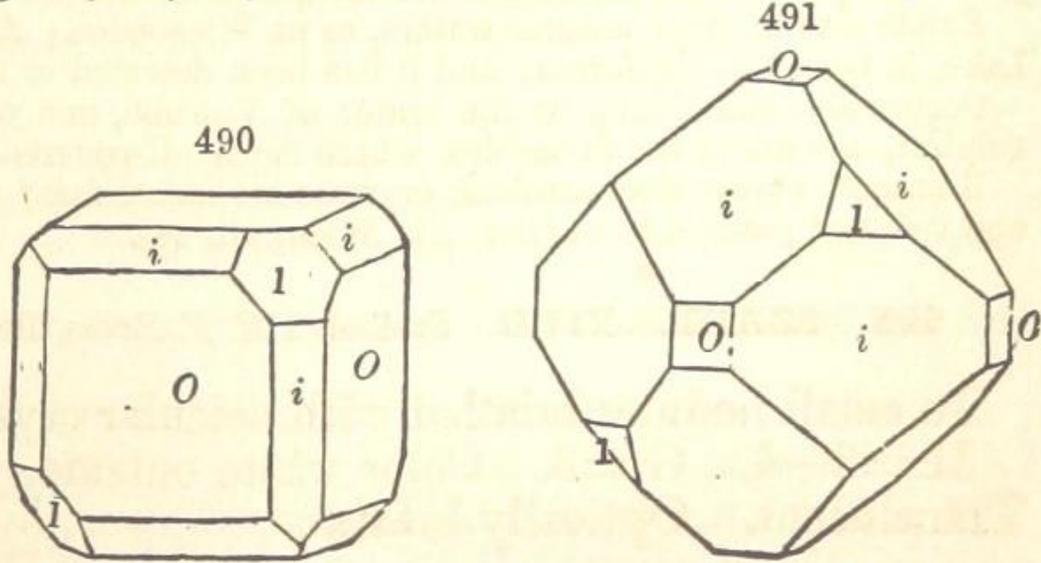


Figura 4: Extracto de un ejemplo de la obra *Un sistema de mineralogía* que trata la descripción geométrica de formaciones cristales. Fuente: Dwight D. (1844)

Además de reflexionar los orígenes y ejemplos en el empleo del término paramétrico, hay que hacer una pausa para revisar una definición de este vocablo adecuado en la obra titulada *CRC Enciclopedia Concisa de Matemáticas*, la que define un *parámetro* por medio de la siguiente explicación: “Las ecuaciones paramétricas son un conjunto de ecuaciones que expresan un conjunto de cantidades como funciones explícitas de una serie de variables independientes, conocidas como "parámetros" (Weisstein, 2002, pág. 2150). Dicho de otro modo, se puede comprender un parámetro como una cantidad variable que se procesa por medio de funciones explícitas, generando así *modificadores* que controlan o crean alguna parte de una formación geométrica, de tal forma que, si se modifica alguna variable el resultado final se crea nuevamente y será distinto al anterior.

Cuando se exploran los orígenes de la aplicación del principio paramétrico al diseño arquitectónico, se observan las obras del arquitecto español Antoni Gaudí en 1889, o para ser más específico, los modelos de cadenas colgantes que manejaba para diseñar,

calcular, proyectar y generar sus proyectos, de los cuales un ejemplo se puede apreciar en la figura 05.



Figura 5: Modelo de cadena colgante para el proyecto Colonia Güell desarrollado por el arquitecto español Antoni Gaudí.

En estas obras Gaudí definía un conjunto de parámetros independientes como lo eran la longitud de la cuerda, la ubicación del punto de anclaje, el peso del tiro de pájaro, las ubicaciones de vértices de los puntos, entre todo tipo de características adicionales del modelo, y en función de su parámetro principal dado por la fuerza de la gravedad y con el manejo de pesas estratégicamente distribuidas que colgaban de los hilos, Gaudí hacía que todos los elementos interactuaban simultáneamente para generar finalmente una volumetría que trabajaba inicialmente a tensión, mas cuando él invertía el modelo de cadenas colgantes y basándose en el principio físico de Robert Hook, tenía certeza de que los componentes geométricos que una vez trabajaban a tensión ahora lo hacían a compresión. Por medio de esta lógica pragmática basada en el principio físico de Hook, Gaudí tenía certeza -y sin la necesidad de hacer cálculos minuciosos- del criterio estructural al momento de construir sus proyectos.

El escrito titulado *Los modelos de cadenas colgantes de Gaudí: ¿diseño paramétrico antes de la letra?*, expresa:

Lo interesante es cómo en el proceso, Gaudí efectivamente inventó una especie de proceso de diseño “paramétrico” mucho antes de la invención de la computadora (por no hablar del desarrollo de software como Maya o el complemento Grasshopper para Rhino). Una característica del llamado software de diseño paramétrico es que actualiza un modelo digital tridimensional completo de un edificio cada vez que se modifican los parámetros, lo que permite estudiar y comparar alternativas en la búsqueda de un diseño que funcione de manera óptima (aunque para muchos arquitectos que usan este software parece que el parámetro más importante es la forma estética). Las cadenas colgantes de Gaudí hacen exactamente eso: si el punto final de una cadena se mueve para agrandar o reducir, por ejemplo, el plano del piso en una esquina, entonces la forma de todo el modelo de cadena colgante cambia y se asienta en una geometría de catenaria recientemente optimizada (Gomez-Moriana, 2012).

Como lo expresa Moriana, se puede presenciar un uso por Gaudí del principio del diseño paramétrico aplicado en la arquitectura, en el que no se emplearon procesos computacionales ni las herramientas paramétricas sofisticadas de la actualidad; de tal forma que Gaudí diseñó un proceso de diseño eficiente que le permitía generar un número de iteraciones indefinidas de un proyecto hasta alcanzar un resultado satisfactorio en sus principios funcionales, estéticos, estructurales, entre otros, todo basándose en un principio de pensamiento más que una herramienta. Además de ello, Mark Burry -arquitecto ejecutivo de la Sagrada Familia por Gaudí- indica que prácticamente no hay nada escrito sobre las motivaciones, teorías y prácticas que empujaron a Gaudí a estirar los límites en los procesos de diseño, mas se conoce que el plan de estudios universitario de Gaudí incluía matemáticas avanzadas, física general, ciencias naturales, geometría descriptiva, entre conceptos adicionales (Davis, 2013). De una u otra forma, si Gaudí fue o no consciente del diseño paramétrico se puede decir que su proceso de diseño se alineaba a los principios de éste.

Además de Gaudí, se presentan los proyectos de parte del arquitecto alemán Frei Otto en el año de 1950, cuyas obras también exploran y aplican el principio de diseño paramétrico al compartir una lógica similar al de los modelos de cadenas colgantes

previamente mencionados, junto al manejo de técnicas de diseño adicionales. El escrito titulado *Frei Otto y el desarrollo de rejillas*, explica:

Además de las estructuras de tracción, a finales de la década de 1950, Otto se interesó en las cubiertas livianas que podían formarse utilizando el principio de Hooke de invertir una red colgante. El método de búsqueda de formas también sugiere un método de construcción que utiliza una malla cuadrada de listones de madera o varillas de acero lo suficientemente delgadas como para doblarlas fácilmente (Liddell, 2015, pág. 40).

Además de ser proyectos que comparten la misma técnica de Gaudí, el modelo de Otto generado para la obra *Mannheim Multihalle* visualizado en la figura 06, también incluye el principio de *parámetros* que modelan o generan una geometría por medio de componentes como los ejes rectores base y las longitudes de los tensores, siendo también el parámetro de la gravedad protagonista para la búsqueda de una forma optimizada a diversos criterios y objetivos.

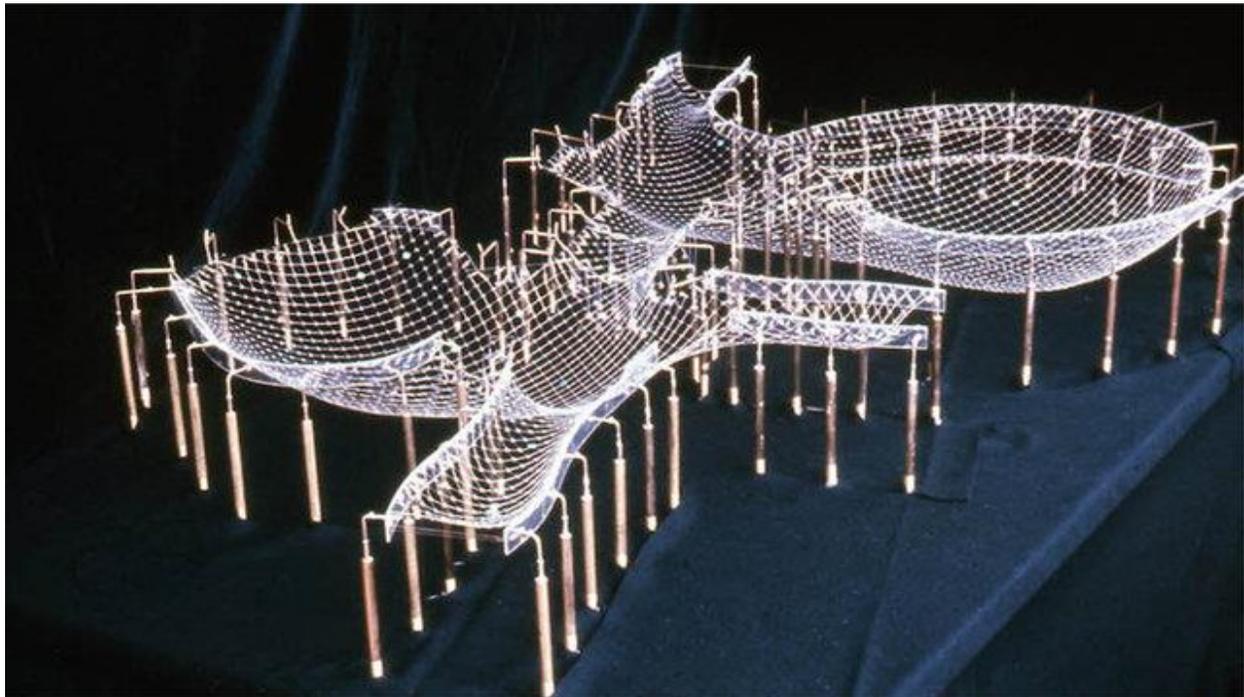


Figura 6: Modelo a escala para la obra Mannheim Multihalle desarrollado por el arquitecto alemán Frei Otto. Fuente: Lidell I. (2015)

Otro ejemplo de parte del arquitecto alemán en el manejo del principio paramétrico aplicado al diseño arquitectónico destaca ahora por medio de un método distinto al previamente expuesto, ya que en éste nuevo Otto manejaba una solución a base de agua y jabón para sumergir plantillas que contenían ejes rectores, para que al despojar la plantilla de la solución se generara una superficie mínima que cerraba el espacio entre los ejes rectores como se puede observar en la figura 07. Además, y como lo expresa el escrito titulado *Serie de conferencias IOP Ciencia e ingeniería de materiales 216*:

El término “búsqueda de forma” fue introducido por primera vez por el arquitecto alemán Frei Otto; debido a su contribución en el uso de modelos físicos como motor de diseño y herramienta de búsqueda de formas, Otto es reconocido como un pionero del diseño paramétrico en arquitectura. Otto se especializó en estructuras ligeras de tracción y membranas, las formas se derivaron de una serie de experimentos con burbujas de jabón que utilizaron la tensión superficial del líquido para encontrar la superficie mínima para cubrir una forma cerrada (Zexin & Mei, 2017, pág. 1).

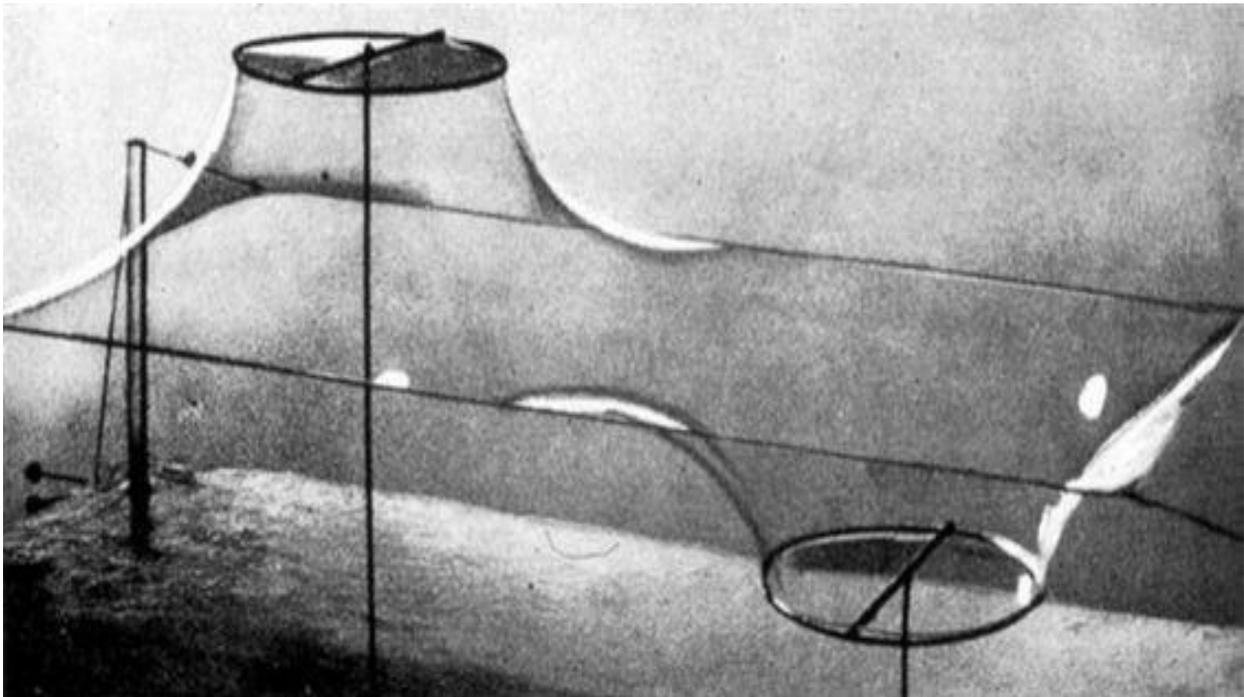


Figura 7: Modelo de superficie experimental a base de solución de agua y jabón. Fuente: Zexin y Mei (2017)

Como lo expresan Zexin y Mei, Otto acopló un término denominado como *búsqueda de forma* -o mejor conocido en inglés como *form finding*-, vocablo que se puede entender como un proceso físico en el que la forma no se define por el usuario, pero más bien se *ordena naturalmente* hasta su límite respetado las restricciones y las leyes de la física. Expresado por medio de un ejemplo, cuando Otto sumergía las plantillas geométricas en la solución de agua y jabón, al separarlos el fluido describía el camino mínimo que conectaba todas las aristas y puntos por medio de una superficie generada mediante las fuerzas de tensión.

Mientras que el término de *form finding* se ilustra todavía bajo ejemplos de naturaleza geométrica básica, hay que tener presente que este principio se sigue empleando en la actualidad mas integrando también de criterios más complejos como lo son factores sociales, ambientales, culturales, funcionales, entre otros para desarrollar componentes morfofuncionales que responden ante problemáticas más complejas del contexto.

En base a los ejemplos previamente descritos, hay que entonces resaltar que el concepto del diseño paramétrico no nace como tal en una condicionante digital por medio del empleo de un ordenador, sino que a partir de la comprensión de un proceso de diseño que consiste en la aplicación de una serie de constricciones vinculadas a parámetros, que permiten ser modificados para la generación de formas morfofuncionales que responden ante un problema; principio que se puede proyectar por medio de herramientas analógicas, epistemológicas, digitales, entre otras.

Y fue hasta 1960 cuando se presentó uno de los primeros casos en la aplicación del principio paramétrico por medio del uso de un ordenador. Desde la década de los 40, el arquitecto italiano Luigi Moretti con un perfil en matemáticas aplicadas y arquitectura, desarrolló varios estudios en el que promovió el término de *Arquitectura Paramétrica*. El escrito titulado *Una 'otra' estética: la arquitectura paramétrica de Moretti* expresa el origen de su término de la siguiente manera:

Moretti, un arquitecto romano, había estado en el lado equivocado de la política durante la Segunda Guerra Mundial, en gran parte debido a los varios edificios que diseñó durante el período del régimen fascista en Italia que precedió al estallido de la guerra. En un intento por distanciarse de la estética de la

arquitectura moderna racionalista italiana y su asociación con el régimen fascista, Moretti desarrolló un método matemático y científico para producir una forma arquitectónica geoméricamente sobria que denominó arquitectura paramétrica (Imperiale, 2018, pág. 72).

Como lo expresa Imperiale, con el fin de distanciarse de un movimiento arquitectónico Moretti exploró métodos de diseño de geometrías que concebían nuevos modelos estéticos con la integración de procesos respaldados de la matemática aplicada. Entre los años de 1940 y 1942, Moretti desarrolló varios estudios y experimentos con el fin de establecer relaciones entre el diseño arquitectónico y las ecuaciones paramétricas, en los cuales los procesos digitales o computacionales todavía no formaban parte de, sin embargo, años adelante cuando empezaron a nacer los primeros equipos computacionales, Moretti integró los procesos digitales a sus investigaciones por medio del ordenador IBM 610 -instrumento computacional lanzado en 1957 siendo éste uno de los primeros equipos personales- en el año de 1960. De esta forma logró diseñar el proceso para un estadio experimental el cual se puede observar en la figura 08, y con la vinculación de diecinueve parámetros relacionados con criterios como lo son ángulos de visión, superficies mínimas, costos económicos, disposiciones espaciales, entre otros, acompañó sus estudios con un proyecto que expresaba cómo la forma derivaba de ecuaciones matemáticas controladas por parámetros. Las distintas versiones del estadio paramétrico posteriormente se presentaron como parte de su exposición de Arquitectura Paramétrica en la duodécima Trienal de Milán en 1960, observada en la figura 09.

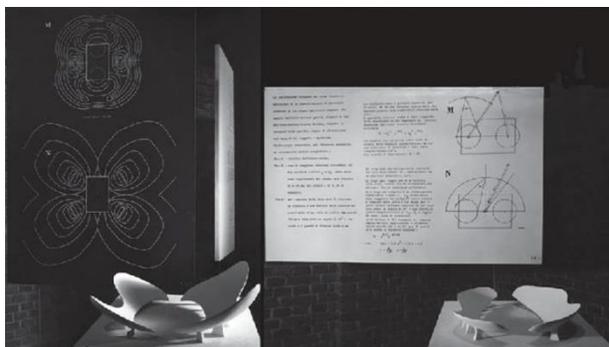


Figura 8: Estadio paramétrico diseñado por Luigi Moretti. Fuente: Bianconi et al. (2019)



Figura 9: Exposición de Arquitectura Paramétrica en la Duodécima Trienal de Milán en 1960. Fuente: Bianconi et al. (2019)

Posteriormente al acontecimiento por Moretti, se pueden observar todavía más acontecimientos en el tramo de 1960 en adelante referentes a la evolución en paralelo de los equipos de cómputo junto a las herramientas paramétricas hasta llegar al concepto y los instrumentos sofisticados de la actualidad.

3.3. Definiciones del diseño paramétrico

Además de reflexionar sobre los acontecimientos históricos relevantes que contextualizan la evolución del diseño paramétrico, hay que explorar las ideas de diversos autores sobre el concepto y la definición en sí de lo que es diseño paramétrico como sus respectivas derivadas. Existen diversas perspectivas referentes al concepto y a continuación, se exploran algunas de estas ideas que se sitúan en el mismo campo temático mas contienen su propia personalización ideológica, con el fin de abstraer los conceptos íntegros de cada perspectiva y relacionarlos, para finalmente generar un eje de referencia sobre el concepto del diseño paramétrico que se pretende emplear para esta investigación.

Primeramente, se pueden recuperar las ideas de Luigi Moretti quien fue uno de los primeros autores en principiar la evolución del diseño paramétrico aplicado en el campo del diseño arquitectónico, según el escrito de *Una historia de lo paramétrico* expresa: “Moretti escribió extensamente sobre la "arquitectura paramétrica", que define como el estudio de los sistemas de arquitectura con el objetivo de definir las relaciones entre las dimensiones que dependen de los distintos parámetros” (Moretti, 1971 citado en Davis, 2013). Esta primera idea permite contextualizar en un ámbito general el diseño paramétrico como una relación entre la dimensión matemática y los sistemas arquitectónicos dependientes de los parámetros vinculados a los cuerpos geométricos que generan una forma. Además de este primer concepto, el escrito titulado *Luigi Moretti, de la historia a la paramétrica* resalta asimismo los puntos más característicos de su perspectiva sobre la arquitectura paramétrica de la siguiente manera:

1 - Rechazo de las decisiones empíricas. 2 - Valoración de los fenómenos tradicionales como hechos objetivos basados en la interdependencia de los valores expresivos, sociales y técnicos. 3 - Definición exacta y completa de los temas arquitectónicos. 4 - Observación objetiva de todos los condicionantes (parámetros) relacionados con el tema arquitectónico e identificación de sus valores cuantitativos. 5 - Definición de las relaciones entre los valores de los parámetros. 6 - Indispensabilidad de distintas técnicas y metodologías científicas según los criterios de la investigación operativa para definir los elementos condicionantes y sus cantidades. 7 - Afirmación de la libertad de decisión y expresión del arquitecto, sólo si no afecta las características determinadas por las investigaciones analíticas. 8 - Investigación de las formas arquitectónicas hacia una máxima, por lo tanto, definitiva exactitud de las relaciones en su "estructura" general (Giuseppe Gallo, 2018, págs. 4,5).

Lo previamente expresado resalta sobre todo el sentido de la objetividad numérica respaldada por los valores cuantitativos aplicados al diseño arquitectónico, de tal forma que los criterios de diseño deben estar sujetos por principios cuantificables que se comprenden a través de los parámetros, siendo éstos los que construyen finalmente la estructura que influye la forma arquitectónica; este sentido de objetividad prevalece sin limitar del todo la toma de decisiones y la libertad creativa del arquitecto en segundo plano. También expresa que se explora la geometría hasta alcanzar máximos, en otras palabras, la geometría se optimiza hasta acercarse a un objetivo de diseño cuantificable -como lo puede ser un área o volumen específico, número de espacios o componentes, distancias visuales, entre otros criterios- generalmente referente con algún aspecto de funcionalidad. Este principio de máximos, mínimos u objetivos numéricos específicos se asocia en parte al concepto de *form finding* establecido por Frei Otto.

Otra idea resalta por el arquitecto y teórico del diseño Christopher Alexander, quien en 1977 y en colaboración con distintos agentes en su libro titulado *Un lenguaje de patrones* describe distintos comportamientos formales de la arquitectura que responde a diversos problemas del contexto y criterios socioculturales, lo cual denomina bajo el término de *patrón*, algunos de estos ejemplos que se pueden observar también en la figura 10. Explica en concreto que cada patrón describe un problema que ocurre una y otra vez en nuestro entorno, y luego describe el núcleo de la solución a ese problema de tal manera que esta solución se puede manejar un millón de veces sin hacerlo nunca de la misma manera dos veces (Michael J. Dawes, 2017).

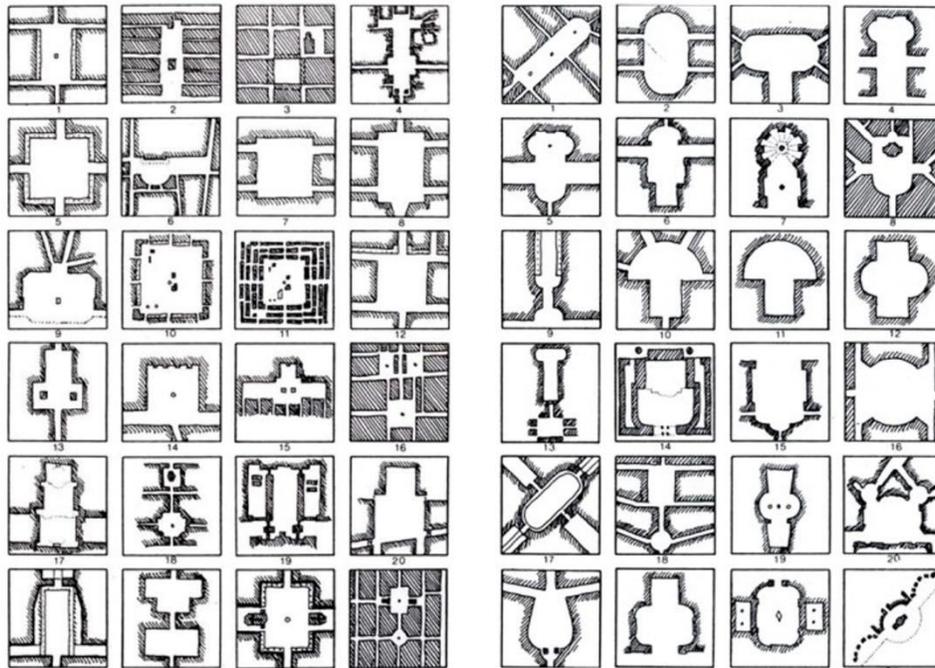


Figura 10: Patrones identificados a problemas del contexto. Fuente: Restrepo (2020)

Esta idea del patrón permite poner en perspectiva uno de los potenciales del diseño paramétrico para resolver varios problemas que cumplen con criterios similares, debido a que, si éstos conflictos se identifican, describen con claridad y en paralelo se diseña una solución para generar iteraciones válidas que responden satisfactoriamente a la traba, sería posible manejar un desenlace instantáneo y satisfactorio en repetidas ocasiones evitando así realizar una extensa actividad de diseño desde ceros cada vez que se requiera resolver un problema parecido. Además, Dawes y Ostwald resaltan la creencia e inspiración de Alexander en el escrito titulado *Un lenguaje de patrones de Christopher Alexander: análisis, mapeo y clasificación de la respuesta crítica* de la siguiente forma:

La segunda teoría de Alexander es significativa por su intento de facilitar un cambio de paradigma en la arquitectura que reemplazaría la teoría convencional, subjetiva y explicativa con una teoría objetiva, basada en evidencia, que genera directamente un diseño. (...) Los edificios tradicionales son el producto de un sistema de valores compartido por la comunidad y una adaptación gradual a las circunstancias cambiantes que trae todas las "fuerzas" que impactan en un diseño

en un equilibrio armonioso. En contraste, la arquitectura contemporánea resulta de la imposición de reglas formales y conceptos abstractos sobre un solo episodio de diseño, creando un resultado donde las 'fuerzas' están desequilibradas (2017, pág. 2).

Como lo expresa el pensamiento de Alexander, las viviendas de las sociedades tradicionales se pueden considerar inherentemente más bellas a la arquitectura contemporánea debido a que se manejan distintos procesos de diseño en el que las viviendas son producto de un sistema de valores compartidos por la comunidad como una adaptación gradual a las circunstancias cambiantes, lo que hace que todas las *fuerzas del contexto* que impactan directo e indirectamente un diseño entren en un equilibrio armonioso. Esta idea, además de representar una de las líneas fundamentales del diseño generativo, permite evolucionar el sentido temático a una complejidad mayor, al involucrar el término de *fuerzas* y cómo la arquitectura es *producto de un equilibrio armonioso* de éstas. Este término se puede comprender por medio de criterios del contexto que atacan un diseño, desde consideraciones físicas, ambientales, geográficas, funcionales, estructurales, sociales, culturales, entre todo tipo de componentes que comprenden el sistema complejo de un contexto, y precisamente esta idea de parte de Alexander permite comprender una dimensión más profunda del diseño paramétrico a únicamente la matemática y geométrica como lo comprenden las ideas de Moretti.

Al explorar más definiciones, se articula el concepto de *Parametricismo* de parte de Patrik Schumacher (2008) -arquitecto principal del despacho de *Zaha Hadid Architects*-, quien en su escrito titulado *Parametricismo como Estilo - Manifiesto Parametricista* expone:

El parametricismo surge de la explotación creativa de los sistemas de diseño paramétrico con vistas en articular procesos sociales e instituciones cada vez más complejas. (...) Esto se evidencia por el hecho de que los arquitectos modernistas tardíos están empleando herramientas paramétricas en formas que dan como resultado el mantenimiento de una estética modernista, es decir, utilizando modelos paramétricos para absorber la complejidad discretamente. (...) Es el sentido de complejidad organizada (gobernada por leyes) lo que asimila las obras parametricistas a los sistemas naturales, donde todas las formas son el resultado de fuerzas que interactúan legalmente. Al igual que los sistemas naturales, las composiciones parametricistas están tan integradas que no se pueden descomponer fácilmente en subsistemas independientes, un punto de diferencia

importante en comparación con el paradigma de diseño moderno de separación clara de subsistemas funcionales.

Schumacher presenta el término *Parametricismo*, el cual lo comprende como una arquitectura producto de la interacción de diversos subsistemas que comprenden todo un sistema complejo -idea alineada a la teoría de los sistemas complejos de Bertalanffy-, y como lo indican asimismo las ideas de Alexander empezamos a visualizar *leyes o fuerzas del contexto* que *ordenan la forma* hasta obtener una *respuesta morfofuncional* de parte de la arquitectura, producto de una integración de dimensiones tanto objetivas como subjetivas que balancean la forma hasta resolver un problema, evocando así que se rompan todo tipo de principios de diseño convencionales -generalmente geometrías comprendidas por la ortogonalidad- evocando así nuevas volumetrías y estéticas -un ejemplo que se puede observar en la figura 11- que inclusive se podría decir que empiezan a comportarse como seres vivos o cuerpos biológicos. Aquí es donde la brecha entre forma y función desaparece para comprender nuevas respuestas más *orgánicas* o *biológicas* para la arquitectura, con formas que tienen una función en sí mismas.



Figura 11: Manifiesto parametricista expresado en caso de estudio de diseño urbano. Fuente: Schumacher (2008)

Además de articular una dimensión más compleja, se percibe también la articulación del manejo de las herramientas, ya que como bien lo expresa Schumacher un efecto negativo que se observa de la actualidad es el manejo de los instrumentos paramétricos de parte de los arquitectos y diseñadores para discretamente absorber la complejidad del contexto, ocasionando únicamente proyecciones formales como respuesta meramente estética y formal más que declaraciones morfofuncionales que comprenden el equilibrio armonioso de las fuerzas del contexto para resolver un problema de diseño; por lo que uno tendrá que cuestionar constantemente si el proceso de diseño desarrollado con las herramientas paramétricas comprende la incorporación de diversos criterios para resolver varios problemas de diseño, que generan respuestas geométricas con una función en sí -como responder correctamente a los criterios solares, visuales, de viento, funcionales, fenomenológicos, entre otros- o son meramente un producto estético.

Hay que concluir entonces que las herramientas paramétricas se pueden emplear sin concebir una perspectiva de pensamiento complejo, lo cual comúnmente ocasionará respuestas que sólo apelan a lo visual o estético; sin embargo, el potencial del diseño paramétrico, generativo o sus derivadas -y como lo indican las ideas de Alexander y Schumacher- explota cuando los instrumentos del pensamiento se integran con las soluciones computacionales para percibir, abstraer y plasmar en un proceso programable parte de la complejidad del contexto, desarrollando así las respuestas morfofuncionales que comprenden el problema de diseño.

Asimismo, la perspectiva de Flores (2016) también suma a la concepción sobre el diseño generativo expresando su perspectiva de la siguiente manera:

Puesto que la comprensión del diseño paramétrico está hoy arraigada completamente a los softwares que permiten este diseño, en concreto y predominantemente Rhinoceros y Grasshopper, hemos preferido hacer referencia al concepto de diseño generativo como herramienta epistemológica pues pretendemos de esta manera desligarlo del software y entenderlo como una forma de pensamiento para el diseño arquitectónico (pag. 65).

La perspectiva empleada sobre el diseño generativo desliga la dimensión computacional para comprender la de las herramientas epistemológicas aplicadas a los procesos de

diseño en arquitectura, examinando asimismo distintos principios humanísticos. Este fue el foco principal del proyecto de investigación por Flores, lo cual permite comprender que el diseño paramétrico y generativo pueden colocarse de un lado o el otro, de la dimensión epistemológica o la computacional; pero hay que recordar que la postura de la presente investigación pretende manejar la perspectiva del diseño paramétrico como íntegro de ambas partes, sin perder de vista el modelo de pensamiento ni el manejo de las herramientas computacionales.

Otro de los principios del diseño paramétrico se presenta con la perspectiva de parte de Kolarevic (2003), quien en su libro titulado *Arquitectura en la era digital: diseño y fabricación* expresa el potencial de la parametría de la siguiente forma:

La parametría puede proporcionar una poderosa concepción de la forma arquitectónica al describir una gama de posibilidades, reemplazando en el proceso lo estable con lo variable, singularidad con multiplicidad. Utilizando la parametría, los diseñadores podrían crear una infinidad de objetos similares, manifestaciones geométricas de un esquema previamente articulado de dependencias dimensionales, relacionales u operativas variables. Cuando a estas variables se les asignan valores específicos, se crean instancias particulares a partir de un rango potencialmente infinito de posibilidades (pag. 25).

Además de la perspectiva de Kolarevic, otra idea que se articula con lo previamente expresado se presenta con la afirmación de Lars Hesselgren -investigador y académico en arquitectura y urbanismo-, quien indica que "el diseño generativo no se trata de diseñar un edificio, se trata de diseñar el sistema que diseña un edificio" (Stocking, 2009).

Ambas ideas ponen en perspectiva la diferencia en el modelo de trabajo que se emplea al manejar las herramientas paramétricas y generativas contra otras formas de trabajar, ya que aquí el enfoque se centra en diseñar un proceso que permite generar una infinidad de resultados más que sólo un producto único. Al orientar el diseño del sistema que genera un resultado en vez del producto en sí, permite que el diseñador modifique los parámetros vinculados a las geometrías del producto, para finalmente generar una infinidad de iteraciones de un diseño de una manera dinámica y flexible, esto dentro de un rango de posibilidades infinitas. Y como lo indica Kolarevic, se crea entonces así un proceso de diseño *más dinámico* que estable al reemplazar las restricciones fijas por variables.

Este modelo de trabajo en esencia permite trabajar de una forma más eficiente al optimizar factores como el tiempo y el aspecto económico de un proyecto, aprovechando así la oportunidad de generar múltiples iteraciones de un mismo producto gracias a la flexibilidad y la rapidez que proporciona un proceso de diseño programable y la capacidad de procesamiento de los equipos computacionales, con el fin de obtener múltiples de los mejores resultados que resuelven un problema de diseño, y posteriormente evaluar los aspectos objetivos -generalmente cuantificables- y subjetivos -como lo pueden ser factores humanísticos- de las distintas iteraciones para finalmente seleccionar la propuesta que mejor responde ante los requisitos y fuerzas del contexto.

Por último, una perspectiva más que suma a lo anteriormente expresado se visualiza con el ejemplo de Kowalski (2016) -ex jefe de tecnología de AutoDesk®, quien ejemplifica el diseño generativo aplicado para el diseño de una silla -ejemplo visualizado en la figura 12-; explica que este proceso consiste en indicar a la computadora parámetros, reglas, constricciones, entre todo tipo de criterios adicionales que debe cumplir el producto, y la computadora genera varias posibles soluciones que cumplen con estas demandas para que posteriormente el diseñador seleccione la opción que considera que dispone de los mejores criterios para proceder a mejorar el diseño a base de su propio razonamiento humanista, o en su debido caso y si se cumplen todas las consideraciones, se procede a materializar directamente la propuesta.

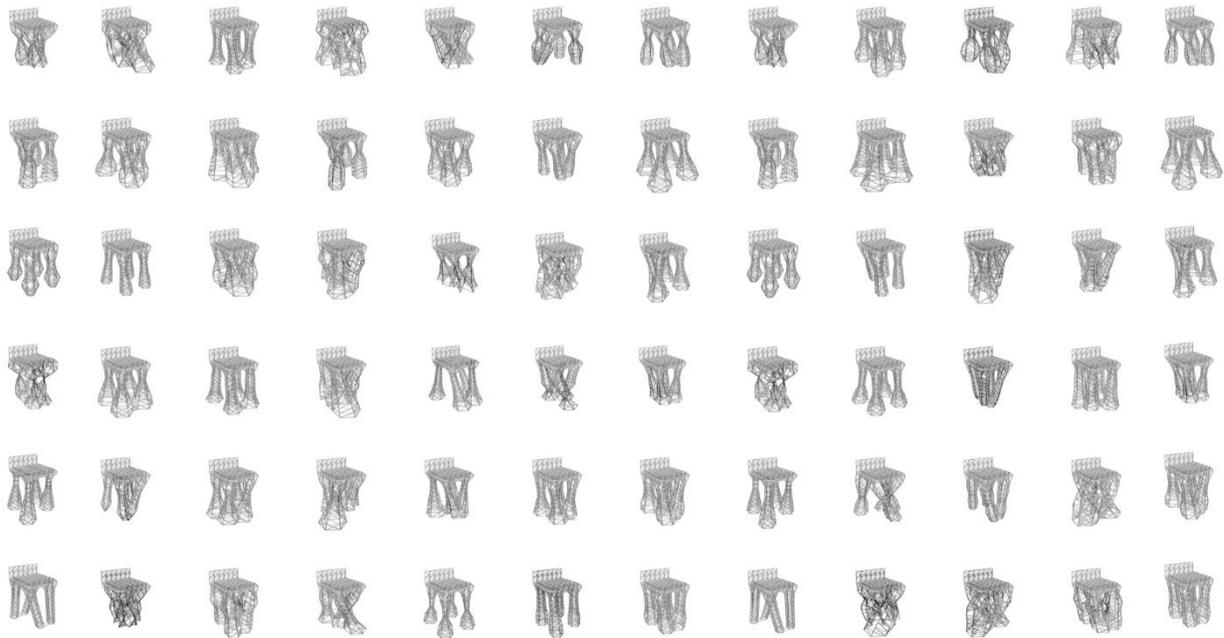


Figura 12: Extracto de vídeo ejemplar sobre el diseño generativo. Fuente: Autodesk (2016)

Adicionalmente, en el escrito titulado *Del misterio al dominio: desbloquear el valor comercial de la inteligencia artificial en la industria de seguros*, Kowalski afirma que “El diseño generativo es una desviación de la forma en que tradicionalmente hemos realizado el diseño, pero estas tecnologías no son una amenaza, son más como superpoderes” (John Kilbride, 2017, pág. 34).

Como lo expresa, además de precipitar un mayor enfoque en el diseño de un sistema definido por criterios, reglas, constricciones entre otros criterios programáticos más que un resultado, es importante resaltar que esto también genera un cambio de roles entre la máquina y el diseñador afectando finalmente el flujo de trabajo; el diseñador se enfoca más en revisar las iteraciones generadas por la computadora desempeñando las actividades de un programador desde un inicio y al de un evaluador posteriormente, más que al de un diseñador como tal, un tema que se retomará con mayor enfoque posteriormente en la presente investigación a lo largo del bloque que trata la modificación de roles.

3.4. Diferencias entre diseño paramétrico y generativo

A lo largo de la investigación se ha manejado el término de diseño paramétrico para referirse a la línea temática que integra la dimensión del pensamiento y la de las herramientas paramétricas mientras que se articulaban las diversas ideas previamente expuestas, sin embargo, hay que resaltar que el diseño paramétrico y generativo se pueden diferenciar con sus respectivas particularidades, punto que se explora a continuación.

Archistar (s.f.), empresa enfocada en la innovación de tecnologías generativas aplicadas al sector inmobiliario, diferencia el diseño paramétrico y generativo de la siguiente manera:

El diseño paramétrico permite al diseñador realizar cambios en tiempo real. También permite reutilizar elementos y piezas en varios proyectos.

El diseño generativo, por otro lado, ofrece soluciones por medio de iteraciones. El algoritmo de Inteligencia Artificial (IA) utiliza las métricas de entrada para separar las buenas características de las malas. Posteriormente, utiliza una función de puntaje para realizar la siguiente iteración.

En ambos conceptos se comparte la idea que consta en el desarrollo de un algoritmo en el cual se manejan constricciones dadas por parámetros, y específicamente hablando, en el diseño paramétrico el agente que interviene para el desarrollo de las iteraciones de un proyecto es el diseñador, al modificar las variables para obtener los diversos resultados, los cuales él mismo evalúa posteriormente para retroalimentar el algoritmo hasta obtener un resultado adecuado, un ejemplo práctico de lo previamente expuesto se puede observar en la figura 13.

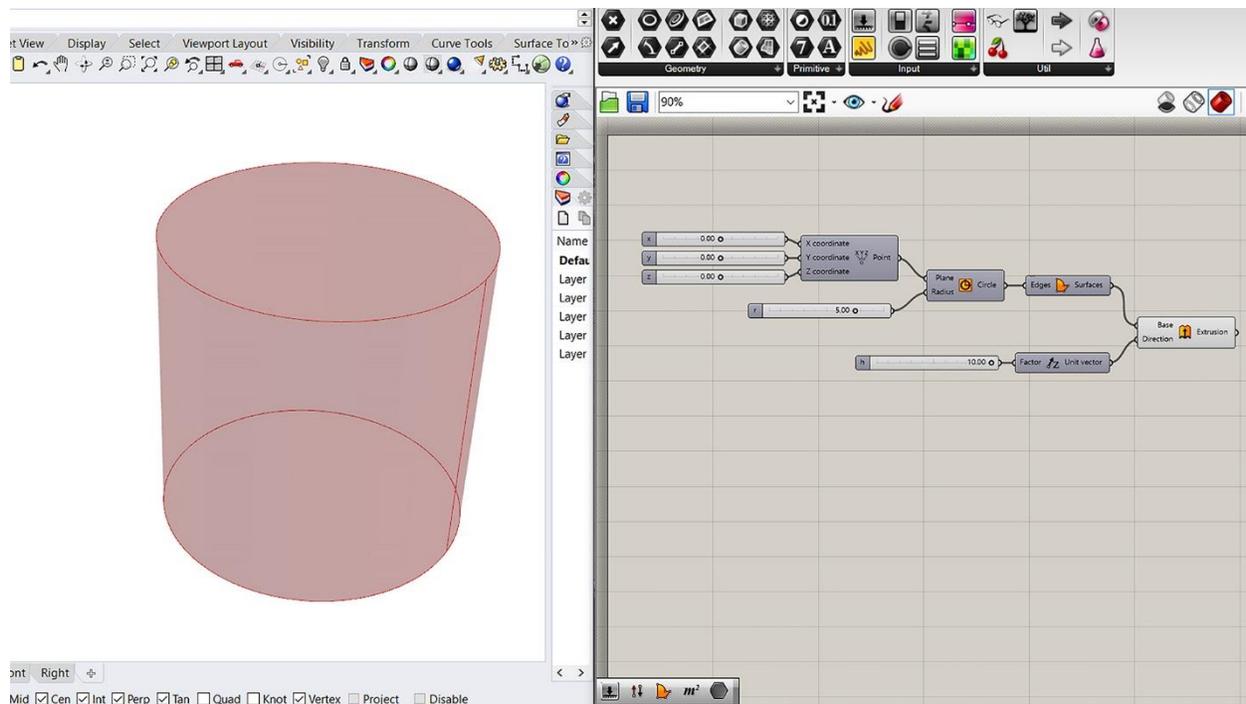


Figura 13: Algoritmo básico para la generación de un cilindro, desarrollado con Grasshopper, un lenguaje de programación basado en flujo. Se puede interactuar de manera libre con los parámetros (Radio y Altura) para generar iteraciones en tiempo real. Fuente: elaboración propia.

Además de lo previamente expresado, Archistar (s.f.) expresa sobre el diseño paramétrico lo siguiente:

El diseño paramétrico es un proceso interactivo. Le permite crear diseños basados en la entrada de parámetros como lo son los materiales, restricciones del sitio e incluso problemas ambientales.

Esto permite a los diseñadores e ingenieros realizar cambios de un proyecto en tiempo real debido a que el software actualizará el modelo automáticamente. Este enfoque permite a los diseñadores explorar muchas opciones antes de fijar el diseño final.

Como se expresa anteriormente, el diseño paramétrico se convierte en una solución más interactiva que trabajar por medio de técnicas convencionales, una herramienta precisa y flexible, y sobre todo dinámica -como lo expresó Kolarevic-; sin embargo, hay que tener considerado que sigue siendo un instrumento de trabajo y no reemplaza el criterio general de los diseñadores e ingenieros.

Y cuando se habla del diseño generativo, el proceso previamente explicado ahora evoluciona y se complementa por medio de un componente generativo, ya que además de crear un algoritmo se establecen objetivos numéricos o cuantificables con los que la computadora se guiará para experimentar y modificar las variables ligadas a un proceso. De dicha forma, el ordenador además de realizar distintas iteraciones del diseño, también encuentra los resultados que cumplen de la mejor forma posible estos objetivos numéricos, asimismo, el diseñador interviene eligiendo los resultados que cumplen criterios adicionales de índole subjetiva, como lo pueden ser factores humanísticos, estéticos, volumétricos, simbólicos, entre otros; un ejemplo de lo comentado se puede observar en la figura 14.

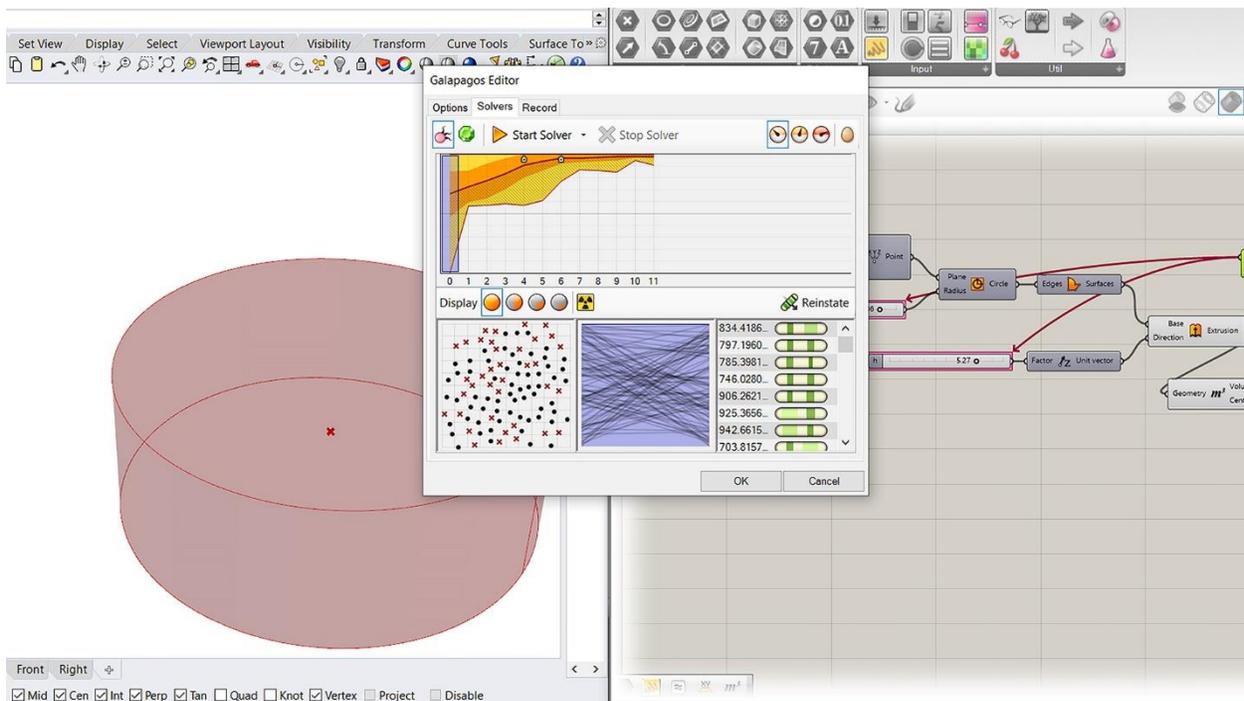


Figura 14: El mismo algoritmo a la figura 13 pero con la adición de Galapagos, un componente generativo que se vincula a los parámetros del cilindro y permite establecer un objetivo cuantificable. Este algoritmo por medio del objetivo de volumen y los parámetros que generan un cilindro, encuentra todas las combinaciones que se acercan a los 825 m3. Fuente: elaboración propia.

Además de lo previamente expresado, Archistar (s.f.) describe el diseño generativo lo siguiente:

El diseño generativo se basa en computadoras e inteligencia artificial. Es un proceso iterativo que utiliza algoritmos avanzados para encontrar la mejor solución.

Primero, el diseñador necesita establecer restricciones y objetivos, y también proporcionar métricas para clasificar los resultados.

Cuando el software entrega el primer conjunto de resultados, utiliza estas métricas de evaluación para clasificarlos. Comienza rechazando todas las soluciones pobres de cada categoría, y después de eso, crea otro conjunto de soluciones basadas en las funciones con las puntuaciones más altas.

Mientras que el diseño paramétrico se basa en mayor interacción de parte del diseñador para clasificar los resultados y retroalimentar el algoritmo, el diseño generativo se basa en los objetivos establecidos para realizar estos procesos de modo automatizado, delegando a otras responsabilidades aún más la participación del diseñador.

Hay que agregar que la diferenciación previamente expuesta se sitúa por el momento en la dimensión de las herramientas sin divagar demasiado del lado del pensamiento que conlleva el diseño generativo, mas hay que tener considerado que, así como existe la diferenciación enfocada en los instrumentos computacionales lo hay para los diferentes modelos de pensamiento, en el que una se distingue de otra al conllevar diferentes grados de complejidad. Sin embargo, con el fin de no desviarse demasiado del tema -y teniendo en consideración que algunos de estos modelos de pensamiento se expusieron previamente en el apartado que trata las definiciones del diseño paramétrico-, para fines de trabajo de la presente investigación se situará la diferenciación de estos dos temas en la dimensión de las herramientas.

Hay que agregar que tanto el diseño paramétrico y generativo además de permitir optimizar y evolucionar el proceso de diseño, cada alternativa cuenta con ventajas y desventajas las cuáles se exploran a continuación en el siguiente apartado.

3.5. Ventajas y desventajas del diseño paramétrico y generativo

Conociendo la particularidad del diseño paramétrico y el generativo, hay que reconocer también las ventajas y desventajas que conlleva cada instrumento con el fin de mitigar los riesgos y explotar las fortalezas. Archistar (s.f.) expresa las ventajas del diseño paramétrico de la siguiente forma:

El diseño paramétrico es más rápido que los métodos tradicionales. Es una excelente opción para proyectos que tienen un plazo ajustado. Por ejemplo, los arquitectos lo usaron para la torre Z15 en China, y al hacerlo, redujo el período de planificación de semanas a días.

Gracias al diseño paramétrico, los diseñadores e ingenieros ahora pueden probar más soluciones que antes, eso significa que pueden tener más influencia en las decisiones de diseño.

La reutilización es otra ventaja del enfoque paramétrico, si un ingeniero diseña una pieza que quiere usar para varios modelos puede guardarla en cuestión de segundos, y cuando quiera trabajar en el siguiente modelo, puede simplemente importar la parte guardada. Esta característica del software paramétrico también permite a los ingenieros compartir conocimientos más rápidamente.

Los ingenieros y diseñadores pueden agregar restricciones a sus diseños en el software paramétrico. Estos son particularmente importantes para evitar futuros errores de diseño, y también pueden asegurarse de que todas las modificaciones sigan el concepto original.

Actualmente existen programas especializados para una variedad de industrias y muchas tienen una interfaz fácil de usar, permitiendo su facilidad de uso.

Finalmente, el diseño paramétrico utiliza estudios de optimización para mejorar la eficiencia de los recursos.

Como lo expresa Archistar, la principal ventaja que oferta el diseño paramétrico es la optimización del tiempo en la resolución de problemas repetitivos, esto gracias a la reusabilidad de los algoritmos propiciando así un mejor ahorro de tiempo tanto en las fases de diseño y producción de distintos proyectos tanto en el corto y largo plazo; además, fomenta el enfoque del diseñador en evaluar proyectos como la toma de juicios relativos a éste, evitando así menor grado de atención en procesos de producción; las restricciones plasmadas permiten generar en tiempo real las distintas iteraciones del proyecto, evitando por un lado posibles errores de diseño y respetando al mismo momento las intenciones originalmente planteadas; adicionalmente, existen distintas herramientas que son amigables con el usuario e intuitivas de manejar para diferentes

rangos de la industria, esto además de facilitar su uso propician que la curva de aprendizaje de éstas sea más fluida; y por último, los instrumentos asimismo permiten optimizar un diseño por medio de mejoras y optimizaciones ambientales del consumo energético parte del proyecto.

Además de las virtudes, Archistar (s.f.) expresa también algunas desventajas del diseño paramétrico de la siguiente forma:

El diseño paramétrico también tiene sus defectos. El más importante es que las restricciones establecidas a veces pueden chocar entre sí, conduciendo a un producto final menos que perfecto. Y en el peor de los casos, el producto puede quedar inutilizable.

Algunos proyectos necesitan restricciones estrictas, pero en otros casos, la flexibilidad del diseño ocupa el primer lugar. Si las restricciones son demasiado estrictas, pueden ralentizar el proyecto y aumentar los costos.

Como se expresa previamente, hay que contemplar que el riesgo del diseño paramétrico se presenta con la interacción de las restricciones de diseño, ya que al momento de aplicar demasiadas se puede presenciar la falta de movimiento en el diseño sin llegar a una solución adecuada, además, existe la posibilidad de que se generen colindancias incoherentes creando así una solución fuera de las expectativas y lo óptimo, alejándose finalmente de los objetivos planteados para el diseño.

Hay que agregar que, mientras la iteración de un proyecto en sus múltiples posibilidades por medio de un algoritmo finalmente reduce el tiempo requerido para cada proyecto en el largo e inclusive corto plazo, la programación en sí de un algoritmo puede conllevar un periodo de trabajo en ocasiones más largo al de diseñar con métodos tradicionales una sola iteración de un proyecto. Este tiempo dependerá por un lado de la experiencia del diseñador, las limitaciones técnicas, el tipo de herramientas empleadas, la complejidad del algoritmo, hardware, entre distintos otros factores.

Adicionalmente, siempre se pueden considerar estrategias con el fin de mitigar el tiempo requerido que conlleva la programación de cada algoritmo por primera vez, como lo puede ser el empleo de subalgoritmos o bloques programáticos modulares, el manejo de plantillas con las configuraciones habituales de un proyecto, la personalización de

componentes, entre diversas otras estrategias con la intención de mitigar al máximo la repetición de labores de cada proyecto.

Finalmente, hay que resaltar que al momento de trabajar con las herramientas paramétricas se puede resolver un mismo problema tomando rumbos distintos, ya que el diseñador al momento de trabajar un algoritmo, lo puede programar de tal forma que varía en complejidad, el número de componentes manejados, el empleo de las constricciones, entre otros factores que determinan si éste es simple o sofisticado. Esta libertad programática puede permitir a los diseñadores resolver un problema de forma directa, simple y con el uso de pocos comandos, mas también existe el riesgo de llegar a la misma solución de un modo demasiado sofisticado con el uso de más componentes y variables de las necesarias. Este riesgo se mitiga a lo largo del tiempo por medio de la experiencia que generan los diseñadores y programadores, así como las mejoras continuas de las herramientas de trabajo.

Además de reflexionar sobre las ventajas y desventajas del diseño paramétrico, Archistar (s.f.) expresa asimismo los aspectos positivos del diseño generativo de la siguiente forma:

El software de diseño generativo utiliza inteligencia artificial para crear soluciones, y todo esto se basa en los parámetros proporcionados por el diseñador. Con la IA integrada, el software aprende de cada conjunto de soluciones y esto asegura futuras posibilidades de mayor calidad.

Este diseño también es mucho más rápido que el proceso estándar, ya que permite a los diseñadores e ingenieros explorar una amplia gama de soluciones en poco tiempo, debido a que el software toma muchas decisiones para el diseñador.

El diseño generativo también puede reducir riesgos asociados con el proyecto. Si obtiene los parámetros correctos, el algoritmo puede comprender datos complejos y también puede predecir riesgos y peligros. Asimismo, la arquitectura puede incluir información sobre el clima en sus cálculos.

Contemplando que los procesos generativos y de la IA forman parte de este concepto, la principal ventaja se presenta con el procesamiento de datos e información de un modo más eficiente para obtener los resultados óptimos, ya que la computadora es la principal partícipe de la toma de decisiones que anteriormente los diseñadores tenían que ejecutar

por cuenta propia. El algoritmo además de procesar las iteraciones de un proyecto, promueve que cada generación de soluciones incremente su calidad al cumplir los objetivos de diseño previamente establecidos, además, se reduce el riesgo asociado con el proyecto al incluir y procesar información compleja que el propio algoritmo considera para efectos de diseño.

Finalmente, Archistar (s.f.) expresa los aspectos negativos y riesgos del diseño generativo de la siguiente forma:

El diseño generativo también presenta inconvenientes, aunque no necesariamente por su propia creación. El mayor de todos es su potencial para automatizar muchos trabajos y hacer que los trabajadores humanos sean redundantes. Eso es especialmente cierto en la industria de la construcción, ya que los artesanos de la madera, los pintores, los yeseros, los pavimentadores y los decoradores también se vuelven vulnerables a la automatización. De hecho, un estudio de Mace afirma que la IA reemplazará a muchos trabajadores de la construcción para el año de 2040, y también predice grandes pérdidas de empleos en otras industrias.

Más allá de las posibles preocupaciones para la industria, el diseño generativo aún requiere de interacción humana. Un diseño creado con esta tecnología es tan bueno como el proceso que crea el diseñador, debido a que, si el creador no entiende cómo utilizar la IA, el diseño generativo puede producirle malos resultados.

Además, el diseño generativo a menudo requiere grandes cantidades de potencia computacional, si bien este problema se mitiga con los años, sigue siendo una preocupación y seguirá siéndolo, dependiendo también de los avances de la tecnología de la nube.

Aunque la idea previamente expresada sobre la automatización junto al riesgo de ser reemplazados por la IA siempre tiene espacio para el debate, se puede considerar más bien que se presentará una modificación de roles a futuro tanto para el diseñador como todos los agentes participantes de un proyecto; el humano además de requerir de un desarrollo de nuevas habilidades, destinará tiempo a la programación y la automatización de procesos y la supervisión de los trabajos de producción, que son ahora absorbidos por la computadora; además de esto y como lo expresa Archistar, se presenta una mayor demanda competitiva de parte de los profesionistas en el manejo de herramientas más complejas, ya que está el riesgo de no lograr una óptima programación si no se tratan

los procesos correctamente, esto finalmente conlleva un requisito de capacidad técnica mayor de parte de los diseñadores, lo cual también representará un cambio en la formación de las futuras generaciones de profesionistas y trabajadores; por último, se debe contemplar que la programación de procesos también requiere de hardware y capacidad de procesamiento computacional superior, lo cual demanda una mayor inversión económica, mas recordando la afirmación de Moore que se explicó al inicio de este bloque, se puede tener en consideración que los equipos computacionales seguirán optimizando su rendimiento mientras que reducen su costo a futuro, permitiendo así que las siguientes generaciones de ordenadores sigan siendo óptimos para los nuevos instrumentos generativos y accesibles a los consumidores en su factor económico.

3.6. Paradigmas de programación y *Flow-Based Programming* (FBP)

Además de conocer las ventajas y desventajas del diseño paramétrico, hay que resaltar que uno de los puntos ha facilitado su adopción entre los diseñadores se observa por medio de un lenguaje de programación visual e intuitivo. Antes de tocar este punto con mayor detalle, hay que primeramente comentar que existen diversos paradigmas de programación con distintos enfoques, y que permiten el desarrollo de algoritmos con diferentes métodos y acercamientos. Según IONOS (2020) -empresa proveedora de soluciones de hosting y cloud para las pymes-, explica que: “Los paradigmas de programación son los principios fundamentales de la programación de software. Lo más fácil es planteárselos como estilos de programación fundamentalmente diferenciados que, en consecuencia, generan códigos software que están estructurados de forma distinta”.

Asimismo, explica que el paradigma más clásico es el de la *programación imperativa*, en la que el código fuente se define por pasos en secuencia a ser ejecutados en un programa, de este estilo también nacen subtipos como la programación procedimental, estructurada, modular, orientada a objetos, entre otros. Otro paradigma se denomina como *programación declarativa*, en la que se describe lo que se debe solucionar y no

tanto los pasos individuales, este estilo también genera subtipos como la programación funcional, lógica, entre otras; estos ejemplos de paradigmas y subtipos se pueden observar en la figura 15.



Figura 15: Paradigmas de programación y sus subtipos. Fuente: IONOS (2020).

Al detallar sobre el paradigma de *programación imperativo*, según IONOS (2020) este estilo de programación es el más antiguo y caracterizado por la especificación de secuencias claramente definidas de instrucciones para un ordenador, en el cual las instrucciones se encadenan una detrás de otra para determinar lo que el ordenador debe hacer en cada momento hasta alcanzar un resultado, también se pueden integrar estructuras de control como bucles o estructuras anidadas en el código. Además, los lenguajes de programación imperativa son concretos y trabajan en cercanía con el sistema, permitiendo así que el código sea más entendible; sin embargo, también es un lenguaje que requiere de la escritura de muchas líneas de texto fuente para describir lo que otros estilos o lenguajes de programación pueden lograr con una parte de las instrucciones. También se indican que algunos ejemplos de lenguajes de programación basados en dicho paradigma son Java, C#, C++, BASIC, Python, entre otros.

Y cuando se explora la definición del paradigma de *programación declarativa*, según IONOS (2020), este estilo se caracteriza por describir el resultado final deseado en lugar de centrarse en la serie de comandos, ya que para alcanzar el objetivo se determina automáticamente la vía de solución, siempre y cuando las especificaciones del estado final se definan puntualmente y exista un procedimiento de ejecución adecuado. Este código destaca por su nivel de abstracción, lo que permite a los desarrolladores representar programas complejos de forma comprimida, esto también conlleva el riesgo de que entre mayor sea la ejecución del código se incrementa el nivel de compromiso de que éste sea tan enrevesado que sólo sea legible para el programador que lo escribió originalmente. Asimismo, se indica que algunos lenguajes basados en el principio de programación declarativa son Prolog, Lisp, Haskell, Miranda, Erlang, entre otros.

Otro paradigma que se ha popularizado notablemente en la última década se denomina como la *Programación Basada en Flujo* (PBF) -en inglés como *Flow-Based Programming* (FBP)-, este estilo permite contar con una curva de aprendizaje más intuitiva para los diseñadores que otros estilos de programación presentan, ya que dispone de una manera natural de abstraer la lógica por medio de la interconexión de diagramas de flujo como se puede observar en la figura 16; y este estilo también permite en paralelo visualizar los comportamientos de cada componente del algoritmo en tiempo real. Hay que resaltar que este paradigma se integra en las diversas herramientas mencionadas a lo largo de la investigación como lo fueron Grasshopper, Dynamo, VizPro, entre otras.

Adicionalmente, el escrito titulado *Sobre un paradigma basado en flujo en modelado y programación en la revista internacional de informática avanzada y aplicaciones* describe este paradigma de la siguiente manera:

En la programación informática, la programación basada en flujo (PBF) es un paradigma de programación que utiliza una metáfora de "fábrica de datos" para diseñar aplicaciones. Otros paradigmas incluyen la programación imperativa, funcional y orientada a objetos. PBF utiliza redes de procesos de caja negra, que intercambian datos a través de conexiones predefinidas mediante el paso de mensajes, donde las conexiones se especifican externamente a los procesos. PBF es una nueva forma de pensar sobre el desarrollo de aplicaciones, que libera al programador del pensamiento de Von Neumann, una de las principales barreras

para pasar al nuevo mundo de los multiprocesadores, y ha evolucionado de manera constante durante los años transcurridos (Al-Fedaghi, 2015, pág. 209).

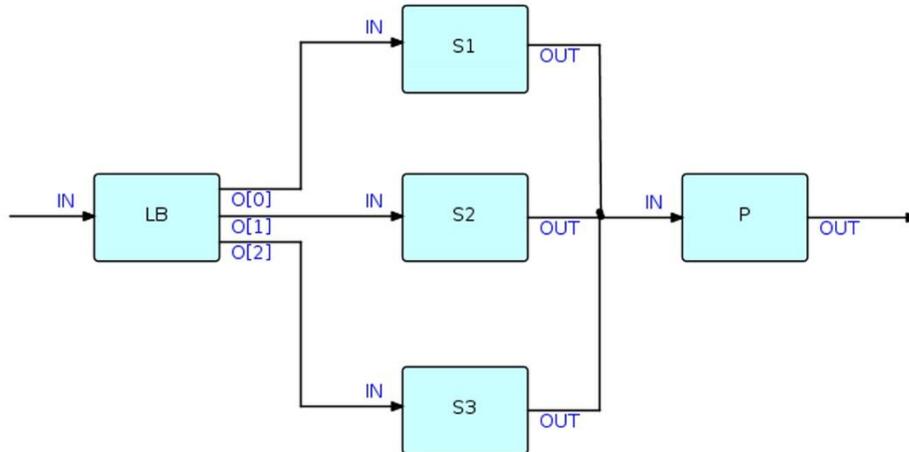


Figura 16: Principio del paradigma de programación basado en flujo. Fuente: Jpaulm (2013).

Como se indicó anteriormente, el paradigma de programación funciona con la interconexión de *cajas negras* -en inglés *black boxes*-, que en otras palabras funcionan como componentes predefinidos que ejecutan una serie de acciones; también se puede decir que este estilo programático está naturalmente orientado en función de los componentes. Estos elementos requieren de uno o más *inputs* -información de entrada- para operar, procesan entonces los datos para finalmente generar *outputs* -información de salida-, y estos datos se convierten nuevamente en los inputs de los siguientes comandos. Esta programación se resume con la interconexión de componentes, y hay que aclarar que también presenta una libertad virtualmente ilimitada, mientras que los componentes a ser utilizados por el diseñador pueden ser siempre los mismos, son precisamente los diferentes modos de intercalar los inputs y outputs lo que ocasiona una infinidad de posibilidades programáticas para el desarrollo de algoritmos que responden ante diferentes problemas.

Adicionalmente, al ser un estilo de programación visual, intuitivo y con una naturaleza lógica, ha permitido expandir las oportunidades programáticas y su adopción entre la comunidad de diseñadores y profesionistas cuyas habilidades natas se asocian a los de aspectos visuales, sin necesidad de ser expertos en computación o programación. Mientras que cada profesionista cuenta con diversas habilidades natas que determinan en qué temáticas de su profesión se desempeña mejor y define qué tan fluido será el aprendizaje de todo un lenguaje de programación, la PBF permite que la curva de aprendizaje sea más fluida al de otros paradigmas, ya que el lenguaje visual se alinea a la naturaleza de trabajo de los diseñadores al integrar una interfaz y modo de trabajo más amigable.

3.7. Building Information Modeling (BIM)

Mientras que en la presente investigación el enfoque principal se centra en los instrumentos generativos, es importante reflexionar también sobre otro concepto con capacidad de aumentar notablemente las posibilidades de trabajo paramétricas; se conoce como el *Modelado de Información de la Construcción* (MIC) -o mejor conocido en inglés como *Building Information Modeling* (BIM)-.

buildingSMART® (s.f.), organización internacional que desarrolla estándares con el objetivo de mejorar el intercambio de información entre aplicaciones y software manejados en la industria de la construcción, explica el BIM de la siguiente manera:

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción.

Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes.

BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D).

El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación.

Cuando se habla BIM, se debe comprender como una metodología de trabajo íntegra de distintas herramientas computacionales más que el uso de un instrumento en particular, y varios de estas herramientas buscan emular los comportamientos reales de un proyecto del sector AEC; Graphisoft® (s.f.), una de las empresas líderes en la implementación BIM con ArchiCAD® de la misma forma como lo es AutoDesk con Revit®, describe un modelo BIM de la siguiente forma: “(...) consiste en el equivalente virtual de los elementos utilizados para la construcción de un edificio, éstos tienen características tanto físicas como lógicas de sus contrapartes reales”; este mismo principio se puede observar en la figura 17, en el cual el modelo almacena todo tipo de información en una base de datos central.

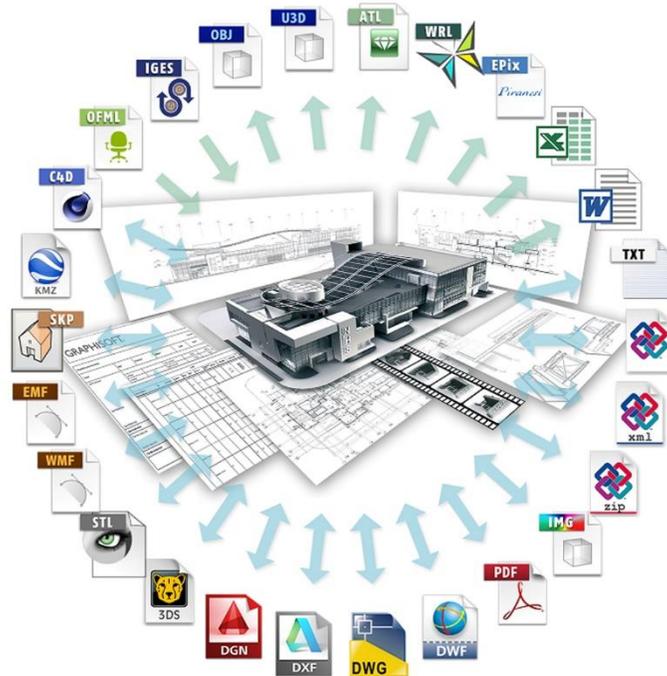


Figura 17: Ejemplo gráfico del *Building Information Modeling*. Fuente: Graphisoft (s.f.).

Adicionalmente como lo afirma buildingSMART, la metodología de trabajo al mismo tiempo que está en constante evolución es lo suficientemente extensa que una característica particular que presenta es el desglose y clasificación de sus procesos en las distintas dimensiones que la componen, como se puede observar en la figura 18.



Figura 18: Desglose de las dimensiones del BIM. Fuente: ACCA (s.f.).

ACCA® (s.f.) -empresa nacida en 1989 afirmada en el sector del software para la arquitectura, ingeniería y construcción- resume las dimensiones del BIM de la siguiente manera:

Las clásicas dimensiones del BIM, a las que corresponde el tipo de información que puede gestionar el técnico, son:

- 3D modelado tridimensional
- 4D gestión del tiempo | generación del diagrama de Gantt y de la línea de tiempo destinados a controlar y gestionar las fases de construcción
- 5D gestión económica | control de costes, mediciones, presupuestos, etc.
- 6D sostenibilidad | sostenibilidad ambiental, económica y social que conduce a una obra «de calidad»
- 7D ciclo de vida y mantenimiento | Facility Management: planificación y gestión de las acciones de mantenimiento

En otras palabras, la dimensión del 2D y 3D son mejor conocidas y se distinguen por manejar expresiones gráficas para efectos de documentación, visualización, coordinación entre distintos procesos asociados.

La dimensión 4D incluye el parámetro del tiempo ligado al modelo BIM; en otras palabras, se vinculan los programas de obra (diagramas Gantt entre otros instrumentos) al modelo BIM, de tal forma que una simulación 4D se distingue por *construir virtualmente* por medio de una animación el proyecto en cada una de sus etapas, para anticipar y planear mejor su respectiva materialización en obra.

Cuando se hace la mención de los procesos 5D, se incluyen los criterios de estimaciones y costos; se liga el modelo BIM para manejar procesos automatizados que cuantifican las partes del proyecto para ligarlas a sus respectivos precios unitarios con el fin de obtener un presupuesto de obra.

Los procesos 6D se distinguen por incluir parámetros de sustentabilidad, como lo puede ser la evaluación energética de todo el edificio, criterios de soleamiento, ventilación, iluminación entre distintos criterios adicionales presentes en un proyecto.

Por último, los procesos 7D toman lugar una vez ejecutada la obra con el fin de dar seguimiento, operación y mantenimiento al edificio.

A esto hay que concluir que, además de facilitar la clasificación de actividades de un proyecto por medio de sus respectivas dimensiones al conocer mejor este concepto, la metodología de trabajo BIM presenta varias posibilidades y oportunidades que aumentan notablemente las capacidades del diseño paramétrico aplicado en la arquitectura. Mientras que herramientas como Rhinoceros y Grasshopper permiten trabajar un proyecto paramétrico en sus dimensiones 2D, 3D e inclusive 6D, será importante tener en consideración la integración de otros instrumentos, ya sea de alguna dimensión particular o varias de éstas, que asimismo faciliten la metodología de trabajo BIM, permitiendo emplear un proceso más completo para optimizar las actividades que se pretenden ejecutar en la aproximación metodológica del proyecto de investigación.

3.8. Artificial Intelligence Building Information Modeling (AI BIM)

Además de explorar los conceptos de una metodología de trabajo que aumenta las capacidades del diseño paramétrico, una tendencia se presenta como el siguiente paso al BIM, se denomina en inglés como *Artificial Intelligence Building Information Modelling* (AI BIM). Como lo explica Allen (2016) -fundador y director de EvolveLAB® la cual es una empresa enfocada en la optimización de procesos de trabajo apoyada de tecnologías computacionales, BIM, entre otras para el sector AEC-, en el entorno AI BIM las piezas paramétricas que conforman un modelo BIM se integran con una lógica algorítmica dirigida por la computadora, quien ahora es la encargada de tomar las decisiones del diseño en función de datos generados por medio de la exploración de distintas soluciones, retroalimentando constantemente el modelo BIM con mejoras continuas hasta alcanzar un resultado concreto.

Se puede decir que esta tendencia todavía se encuentra en etapas tempranas de su desarrollo, implementación y adopción, mas algunas muestras que ponen en evidencia el impulso para dar el siguiente paso del BIM se pueden observar con las nuevas funciones en Revit 2022 en la categoría de *Diseño Generativo*, y como lo explica Autodesk (2021) en la descripción de estas nuevas funciones: “Utilice el diseño generativo en Revit para generar rápidamente alternativas de diseño basadas en sus objetivos, restricciones y entradas. Luego explore, optimice y tome decisiones informadas para abordar los problemas de diseño”, además de implementar soluciones generativas predefinidas para la resolución de problemas, el usuario ahora tiene la posibilidad de crear su propio algoritmo por medio de la programación visual -al igual como en Grasshopper- con el complemento de Dynamo® integrado dentro de la interfaz de Revit.

Asimismo, tanto Revit como ArchiCAD tienen la posibilidad de integrar el potencial generativo que ofrece Grasshopper, para que las presentes soluciones interactúen con el modelo BIM constantemente, aumentando así la generación de información retroalimentación y resolución de problemas referentes a un diseño; en el caso de Revit, la solución desarrollada por *Robert McNeel & Associates* denominada como

Rhino.Inside® permite la conexión en vivo con Revit; y en el caso de ArchiCAD, Graphisoft ha desarrollado también el complemento denominado como *Grasshopper – Archicad Live Connection*, permitiendo así la conexión de elementos BIM a las soluciones generativas desarrolladas con Grasshopper.

Como se expresó anteriormente, son distintas las soluciones que surgen en los mercados cada año que potencializan la integración del diseño generativo a la metodología de trabajo BIM, y mientras que ambos temas se pueden trabajar por separado, es precisamente su paralela integración lo que abre nuevas oportunidades de trabajo para los diseñadores al potencializar las capacidades de diseño a un nuevo límite.

3.9. Arquitectura efímera

Además de revisar los principios y herramientas que toman parte a lo largo de la investigación, hay que comentar sobre la rama o -dicho de otra forma- el *terreno ideal* para la experimentación pragmática de los conceptos previamente descritos, a lo cual resalta la rama de la arquitectura efímera. Como lo expresa Fernández en la publicación de *Arquitecturas efímeras con herramientas paramétricas*, indica:

La sociedad en la que vivimos se ha convertido en una sociedad digital, y en los últimos años el diseño arquitectónico ha evolucionado enormemente gracias a la aparición de nuevas herramientas de creación computacional, una de ellas, el diseño paramétrico. Estas herramientas tienen unas posibilidades de diseño infinitas, pero este tipo de técnicas siguen en una fase experimental, lo cual liga a la perfección con el ideal de las arquitecturas efímeras, las cuales pese a su corta duración en el tiempo siempre han jugado, desde las escenografías barrocas, un papel relevante en el devenir de la arquitectura (Fernández & Checa, 2014, pág. 114).

La idea previamente descrita expresa de una manera muy acertada cómo es que se liga el tema del diseño paramétrico con la arquitectura efímera, siendo la rama de la arquitectura efímera un área ideal para la experimentación de las técnicas y herramientas paramétricas; y sumando a lo expresado por Fernández, esta rama arquitectónica también se caracteriza bajo la naturaleza de la temporalidad, con el desarrollo de

elementos espaciales por medio del manejo de materiales, técnicas, ensambles, prefabricados, entre diversos elementos con un ideal para la experimentación por medio de la conformación de espacios temporales.

Un punto que hay que reflexionar es sobre los modos que dispone un arquitecto para comprobar y conocer el comportamiento real de todo un edificio o un espacio en particular; claro, algunas oportunidades se presentan con el manejo de técnicas basadas en la realidad virtual, aumentada, mixta, la visualización por medio de imágenes hiperrealistas, los recorridos virtuales e interactivos, entre otras técnicas, pero hay que tener en cuenta que éstas se apegan a percepciones basadas en los sentidos visuales, auditivos y kinestésicos primeramente, y un espacio se vive -realmente- con el manejo de todos los sentidos que conforman nuestra percepción dados por medio de sensaciones visuales, kinestésicas, auditivas, olfativas, gustativas y táctiles. A lo cual se podría decir que para vivir un espacio -realmente- con el manejo de todos nuestros sentidos sensoriales necesitaríamos estar dentro de éste en su contexto geográfico y social determinado, con lo que podemos percibir que un modo para conocer el comportamiento de un diseño arquitectónico se da con la materialización de la obra a escala real en su entorno dado.

Y dicho lo anterior, hay que tener en cuenta que la materialización de una vivienda con un objetivo permanente -con la idea de que lo construido ya se dará como un resultado final y no como una prueba experimental- a escala real conlleva un recurso económico significativo a diferencia de otras ramas profesionales que tienen la oportunidad de realizar pruebas para la comprobación de una hipótesis con el desarrollo de elementos a escala reducida, permitiendo así consideraciones para su reciclaje o desecho en su debido caso, claro, también se podría generar un elemento arquitectónico de tamaño limitado mas nuevamente no se viviría un espacio en todo su potencial.

A lo cual recurrimos a la arquitectura efímera como una alternativa adicional, que por un lado permite la toma de consideraciones para reducir notablemente el peso económico requerido para la materialización de un experimento arquitectónico con el fin de conocer los comportamientos de un espacio, y por otro considera la visión de la temporalidad generando asimismo una presión sobre la necesidad de incorporar criterios del ciclo de

vida que tiene el proyecto a diferencia de obras con visión de permanencia, factores que van desde su diseño preliminar, montaje, desmontaje y reciclaje o desuso.

De este modo, se considera que la arquitectura efímera se convierte en una alternativa significativa para el desarrollo de experimentos arquitectónicos con el fin de observar y comprobar comportamientos espaciales, materiales, técnicos, sociales, entre otras características experimentales, mas sin la presión de que el experimento se dará por medio de una obra con fines de permanencia y peso económico significativo.

3.10. Fabricación digital e impresión 3D

Además de comentar sobre la rama de la arquitectura que genera sinergia con el tema del diseño paramétrico, un punto que asimismo va de la mano con dicho tema es la fabricación digital. Un párrafo de la publicación del escrito *¿Construcción o fabricación? Nueva materialidad y fabricación digital*, indica lo siguiente:

Las sinergias que se están desarrollando entre el diseño asistido por ordenador (C.A.D.) y la fabricación asistida por ordenador (C.A.M.) han producido lo que bien podría considerarse como una nueva abstracción formal. Quizás por primera vez en la historia, la arquitectura ha ido más lejos que las artes plásticas en la exploración de una nueva estética de la materia, lo que se ha dado en llamar nueva materialidad (Marcos, 2012, pág. 104).

Además de lo expresado, la publicación en términos generales resalta las nuevas posibilidades formales que se presentan -y como bien lo menciona- con la integración de las nuevas tecnologías, posibilitando así no sólo el diseño de nuevos modelos geométricos con el uso de las herramientas paramétricas íntegras del CAD sino que asimismo la posibilidad de aprovechar esta información geométrica para romper limitantes de fabricación gracias a las tecnologías CAM, por medio de diversas técnicas de fabricación digital que derivan de métodos de sustracción y adición.

Asimismo, la publicación *Impresión 3D, tecnología abierta de fabricación digital* explica (Ruscitti, 2015, pág. 1) las dos derivadas de la fabricación digital, siendo las técnicas sustractivas aquellas que parten de un bloque en bruto y retiran el material de sobra por

medio de herramientas de corte hasta lograr encontrar una forma como lo es la tecnología de corte en laser y router CNC; mientras que las técnicas aditivas consisten en agregar material para obtener la conformación de una pieza, de las cuáles algunas tecnologías como lo es la impresión 3D toman parte.

Asimismo, la publicación presenta una visión interesante sobre la implementación y el crecimiento de la tecnología de la impresión 3D bajo un enfoque personal, al asemejar esta nueva tendencia a una nueva revolución industrial, agregando también:

Tanto el contundente crecimiento del mercado de la Manufactura Aditiva, como la vitalidad del movimiento de las Tecnologías Abiertas, han ido abonando la hipótesis de que la impresión 3D significaría una nueva revolución industrial. (...) Por otra parte, los entusiastas “makers” visualizan un futuro en el que la “fábrica personal” (la impresora 3D en cada hogar, o al menos en cada barrio) democratice la innovación, promueva una relación no alienada entre el hombre, sus cosas y el medio ambiente, y a la vez revitalice los tejidos productivos y las culturas locales, desandando la homogeneización del consumo globalizado (Ruscitti, 2015, pág. 8).

Además de que la tecnología de la impresión 3D es un movimiento que ha cobrado bastante vida en los últimos años, los motivos por los cuáles se considera la integración de dicho punto en la aproximación metodológica destacan al ser ésta una herramienta que genera -del mismo modo como se resaltó con la rama de la arquitectura efímera- sinergia con el tema del diseño paramétrico, posibilitando así no sólo materializar nuevos modelos de búsqueda formal únicos al campo de la parametrización, sino que en paralelo impulsando la práctica y adopción de las técnicas de fabricación digital para la apertura de nuevas oportunidades en el diseño arquitectónico.

3.11. Herramientas digitales

A continuación, se describen algunas de las herramientas más populares junto a sus complementos adicionales con los que normalmente se trabaja el tema del diseño paramétrico y generativo; es importante resaltar que, aunque existen muchas soluciones en el mercado se seleccionaron las herramientas que mejor se alinean al plan curricular

de la licenciatura en arquitectura de la UAQ, y también las que presentan las mejores oportunidades prácticas para la presente investigación.

3.11.1. Rhinoceros 3D

La herramienta denominada Rhinoceros 3D (Robert McNeel & Associates, 2021), Rhino o también Rhino3D, es un software comercial de aplicación CAD y de gráficos 3D por computadora desarrollado por Robert McNeel & Associates; este instrumento basa la generación de su geometría en el modelo matemático B-splines racionales no uniformes -mejor conocido en Inglés como Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS)-, técnica enfocada en producir una representación matemáticamente precisa tanto de curvas como superficies de forma libre en gráficos por computadora; presente herramienta también se utiliza en fabricación asistida por computadora, creación rápida de prototipos, impresión 3D, ingeniería inversa en industrias de arquitectura, diseño industrial, diseño de productos, multimedia, gráfico, entre otros usos.

El software originalmente se desarrolló como un complemento adicional para AutoCAD desde 1992 (Robert McNeel & Associates, 2020), mas debido a una serie de acontecimientos se toma la decisión de seguir desarrollando este complemento como una herramienta independiente para finalmente ser lanzada como Rhino V1 en Octubre de 1998.

Rhinoceros (Robert McNeel & Associates, 2021) destaca por permitir la creación, edición, análisis, documentación, renderización, animación, traducción de curvas NURBS, superficies, sólidos, geometría de subdivisión (SubD), nubes de puntos, mallas poligonales, entre diversos otros componentes; Rhino también resalta por no tener límites de complejidad, grado o tamaño para proyectos más allá de lo que permita el hardware del equipo particular; como se puede observar en la figura 19, la herramienta es accesible, intuitiva y fácil de aprender, rápida, asequible y está disponible tanto para la plataforma de Mac como Windows.

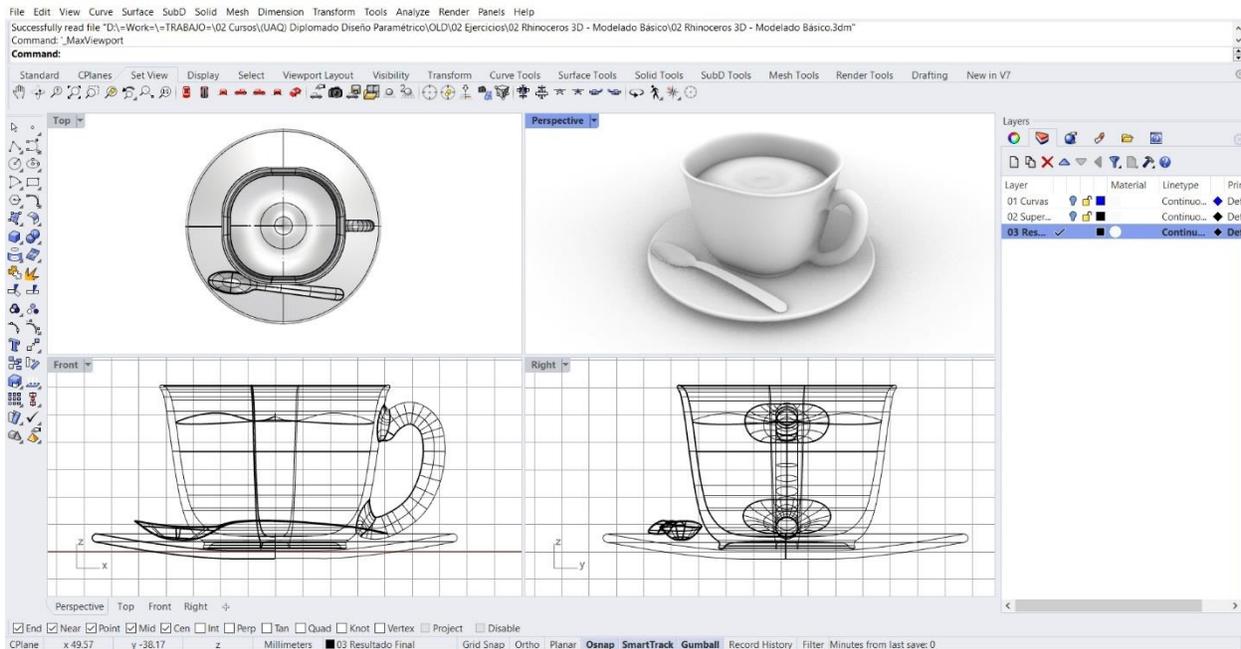


Figura 19: Interfaz de Rhinoceros 3D. Fuente: elaboración propia.

3.11.2. Grasshopper 3D

Grasshopper 3D nace como un complemento para Rhinoceros 3D en forma de lenguaje de programación, desarrollado por David Rutten en Robert McNeel & Associates y lanzado en el año 2008. Este lenguaje programático forma parte del paradigma de programación basado en flujo y se manifiesta de manera visual -como se detalló en apartados previos a lo largo de este bloque, siendo este uno de los motivos por el cual la herramienta se ha popularizado entre diseñadores, al ser una forma intuitiva de programar-, y a la par integra funciones de programación textual permitiendo también modalidades de trabajo híbridas (MODELAB, 2018).

Grasshopper nace particularmente de la función nativa *History* en Rhinoceros 3D, la cual permite grabar una serie de comandos con el fin de cambiar las variables iniciales y así reparametrizar la geometría de Rhino, generando así nuevas iteraciones de un resultado en tiempo real; al inicio se planteaba integrar Grasshopper como una función

3.11.3. ArchiCAD

ArchiCAD es un software para el trabajo de arquitectura bajo la metodología de trabajo BIM, herramienta disponible en las plataformas Mac y Windows desarrollado e implementado por la empresa húngara Graphisoft, la cual fue fundada por Gábor Bojár en 1982. El desarrollo de esta herramienta comenzó en 1982 para en aquel entonces el equipo computacional *Apple Lisa*, el predecesor del equipo *Apple Macintosh* original. Después de su lanzamiento en 1987 y bajo el concepto de *Edificio Virtual* de parte de Graphisoft, la herramienta fue considerada por algunos como la primera implementación del BIM en el mercado. ArchiCAD ha sido reconocido como el primer producto CAD en una computadora personal capaz de crear geometrías 2D y 3D, así como el primer producto BIM comercial para computadoras personales y considerado *revolucionario* por la capacidad de almacenar grandes cantidades de información dentro de un modelo 3D; también es importante resaltar que esta herramienta actualmente cuenta con más de 125,000 usuarios alrededor del mundo (Graphisoft, 2021). Un ejemplo de su interfaz y uso se puede observar en la figura 21.

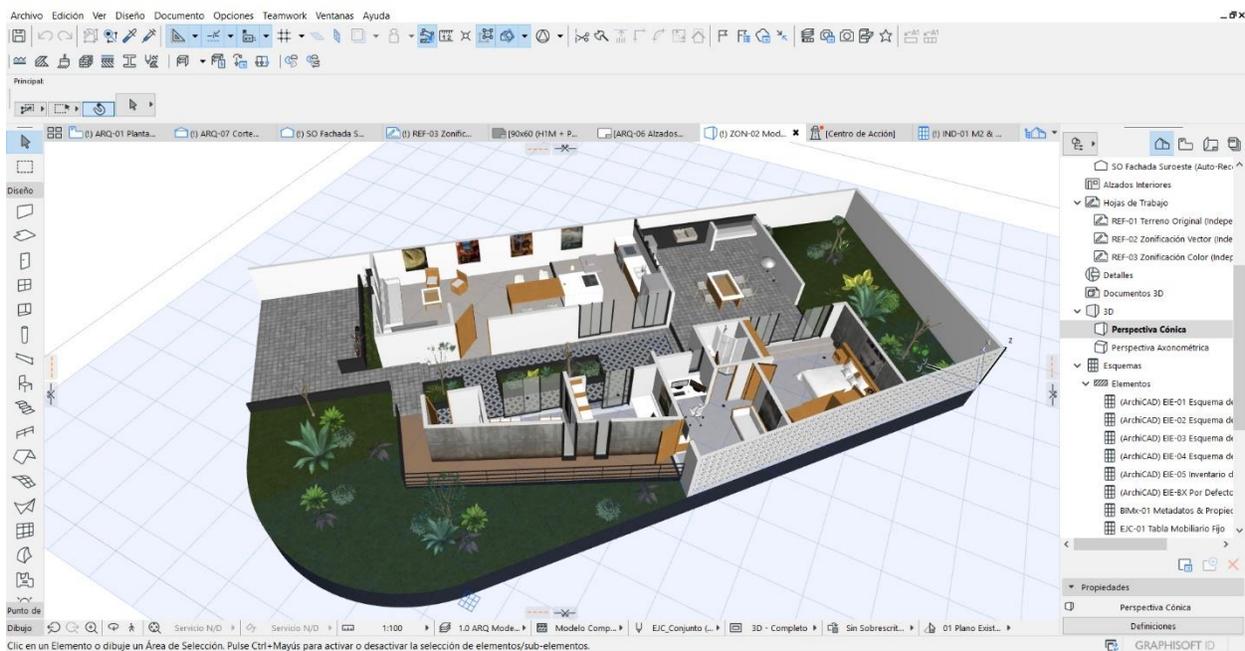


Figura 21: Interfaz de ArchiCAD que contiene ejemplo de un modelo BIM. Fuente: elaboración propia.

3.11.4. Conexión en vivo Grasshopper con ArchiCAD

Este complemento provee la posibilidad de conectar las plataformas de Rhinoceros, Grasshopper y ArchiCAD en tiempo real para llevar a cabo un flujo de trabajo único para la exploración de nuevas posibilidades íntegras del diseño paramétrico y generativo con la metodología de trabajo BIM, permitiendo así un flujo de trabajo bidireccional como se puede observar en la figura 22; en otras palabras, es posible iniciar el proceso ya sea en la interfaz de Grasshopper y vincular la información con elementos BIM con ArchiCAD, o al contrario, iniciar el flujo de trabajo en ArchiCAD para deconstruir la geometría y vincularla al entorno de Grasshopper; de una u otra manera, es posible manejar una máxima integración entre las plataformas para así explotar al máximo las oportunidades de diseño de una forma más flexible y dinámica, evitando así movimientos adicionales de importación y exportación de archivos e información (Graphisoft, 2021); también se podría decir que este flujo de trabajo se puede asociar a la tendencia del AI BIM, sin embargo y como se mencionó en una ocasión, es una tendencia relativamente nueva en proceso de desarrollo.

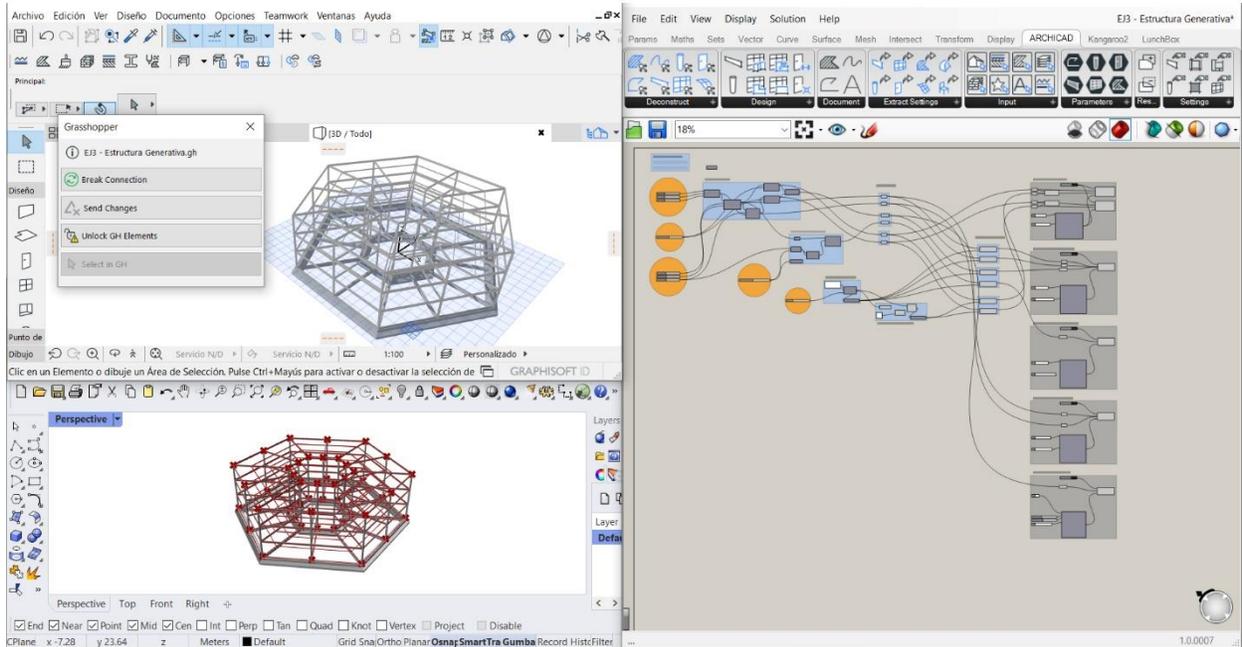


Figura 22: Conexión en vivo entre ArchiCAD (superior izquierda), Grasshopper (derecha) y Rhinoceros (inferior izquierda). Fuente: elaboración propia.

Además de los instrumentos previamente expuestos, hay que mencionar que una alternativa a la herramienta de ArchiCAD es Revit, solución BIM fomentada por Autodesk; Revit cuenta también con funciones y posibilidades de programación visual facilitadas por Dynamo, un complemento en formato de lenguaje de programación visual similar a Grasshopper, pero que está integrado dentro de la interfaz de Revit; Viz Pro también es otra alternativa de programación visual desarrollada como complemento para la herramienta de SketchUp®, un instrumento de modelado 3D popular entre la comunidad de diseñadores y diversos agentes del sector AEC.

Hay que mencionar que algunos plug-in's destacados para la interfaz de Grasshopper que expanden aún más sus posibilidades, son LunchBox® el cuál es un complemento popular que permite posibilidades de exploración matemática de formas, estructuras, flujos de trabajo, panelización, machine learning, entre otras funciones; Galapagos es un complemento ya íntegro dentro de la interfaz de Grasshopper permite evolucionar el diseño paramétrico al generativo, por medio de su solucionador evolutivo que ataca un

problema cuantificable con dos tipos de algoritmos de optimización: evolutivo y recocido; LadyBug es otro complemento que permite visualizar y analizar datos meteorológicos en Grasshopper, lo que incluye la generación de diversos diagramas como la trayectoria del sol, rosa de los vientos, gráficos psicométricos, entre otro tipo de información que funciona para el diseño y análisis de soluciones en función de criterios ambientales; otro complemento que permite la toma de decisiones en función de criterios estructurales se manifiesta como KIWI!3D, solución para el análisis de fuerzas estructurales aplicadas en diversas geometrías; otro se facilita por Kangaroo, el cual es un motor de física que permite la simulación interactiva, búsqueda de formas, optimización, resolución de restricciones, entre criterios adicionales aplicando la fuerza de la gravedad; además de los componentes previamente mencionados hay que recordar que las posibilidades de Grasshopper se aumentan con una amplia gama de soluciones *open-source* -código abierto- facilitadas por distintas fuentes.

3.12. Transformación de roles

Además de reflexionar sobre los conceptos previamente expuestos, hay que tener en consideración que todo esto repercute en las responsabilidades y una transformación del rol que adopta el diseñador en conjunto a los agentes participantes de un proyecto al emplear los procesos paramétricos. El trabajo de investigación titulado *Informar Formar Realizar* -en inglés *Inform Form Perform*- en el que se exploran las técnicas generativas aplicadas a un proyecto de diseño, describe la transformación de roles de la siguiente forma:

Las computadoras pueden tomar decisiones basadas en comparaciones cuantitativas y análisis con mayor precisión en menos tiempo que sus contrapartes humanas. En lugar de reemplazar a los diseñadores humanos, el proceso permite una discusión entre computadoras y arquitectos, donde uno propone una solución de diseño y el otro la ajusta, trabajando de un lado a otro hasta que ambos estén satisfechos con el resultado formal y funcionalmente (Holland, 2011, pág. 18).

La idea expuesta por Holland presenta la perspectiva en cual la computadora y el diseñador hacen mancuerna para distribuir tareas cuantificables y humanísticas, un

ejemplo de este proceso se expresa por medio de las figuras 23 y 24. Aquí el ordenador aprovecha la ventaja de su mayor capacidad de procesamiento de datos con objetivos cuantificables para resolver tareas como el cálculo de espacios, análisis energético, resolución de criterios ingenieriles, gestión de información, costos y presupuestos, entre distintos procesos que se apegan a los criterios funcionales de un diseño; mientras que el humano dedica su enfoque a los criterios humanísticos como lo pueden ser aspectos abstractos, estéticos, sociales, filosóficos, éticos, entre todo tipo de juicios que no son cuantificables y requieren de una perspectiva e intervención humana.

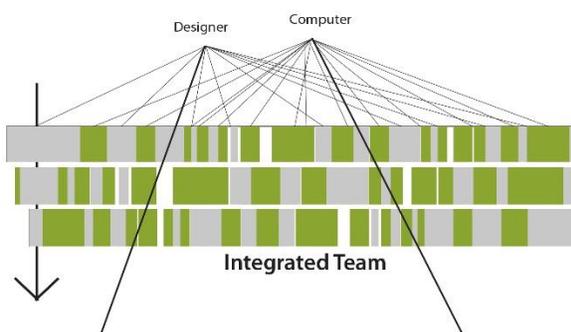


Figura 23: Perspectiva sobre procesos integrados. Fuente: Holland (2011)

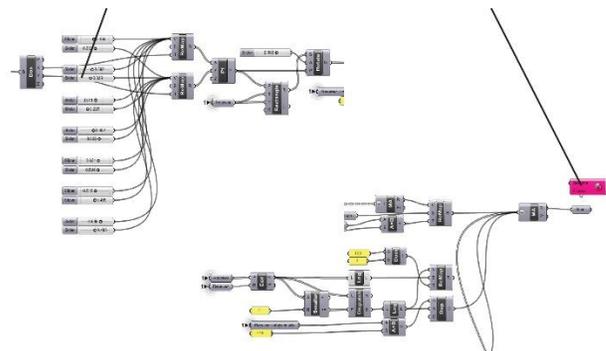


Figura 24: Integración de algoritmos computacionales. Fuente: Holland (2011)

Es importante resaltar que se debe tener cuidado con el punto de vista de *ser reemplazados por la inteligencia artificial*, una percepción negativa que se puede llegar a presentar sobre la adopción tecnológica; más que adoptar barreras es enriquecedor comprender un cambio de roles íntegro para propiciar una distribución adecuada de procesos en función de las habilidades clave del ordenador y el humano, integrar y no segregar.

3.13. Adopción académica

Además de una transformación de roles, hay que tener en cuenta que las emergentes herramientas también repercuten en los modelos educacionales y las formas de aprendizaje de los estudiantes que conforman las generaciones del futuro, modificando

en paralelo las dinámicas y temáticas abordadas junto a las exigencias de aprendizaje del entorno laboral; el escrito titulado *Temas Tácitos en la Educación Arquitectónica UIAE2014* indica lo siguiente:

Los diseñadores de hoy ya no pueden ser entrenados para seguir un conjunto de procedimientos ya que el ritmo de cambio del mundo en el que deben desenvolverse pronto los dejaría atrás. Ya no podemos permitirnos sumergir al estudiante de arquitectura o diseño de producto en unos cuantos oficios tradicionales. Más bien, deben aprender a valorar y explotar la nueva tecnología a medida que se desarrolla (Lawson, 2008 citado en Chokhachian, 2014, pág. 136).

Otro escrito titulado *Transacciones mundiales sobre educación en ingeniería y tecnología 17(4)* complementa lo previamente expuesto con lo siguiente:

La arquitectura contemporánea está experimentando cambios rápidos basados en el desarrollo constante de las herramientas de diseño y otras tecnologías. Para enfrentar esto, es necesario dominar las herramientas de diseño actualizadas y entender cómo usarlas de manera eficiente. Esta es una de las tareas actuales de la educación arquitectónica. Para enseñar diseño paramétrico, se involucran muchas etapas, desde una introducción básica al diseño y finalmente a la fabricación digital. Sólo esta experiencia completa puede mostrar adecuadamente a los estudiantes el potencial detrás de las herramientas de diseño algorítmico (Radziszewski & Cudzik, 2019).

Como lo expresan los anteriores textos, la creciente demanda de parte del contexto laboral junto a la necesidad de disponer de mejores habilidades en el manejo de nuevos instrumentos genera como efecto una transformación de las temáticas y las estrategias abordadas en los sistemas educativos para la formación de nuevas generaciones de estudiantes; y como bien lo indican Radziszewski y Cudzik, una experiencia completa desde el manejo de las herramientas algorítmicas hasta las etapas de materialización tienen el potencial de demostrar la capacidad completa de los nuevos instrumentos generativos tanto a los estudiantes como profesionales.

Justamente un punto que se tomó en consideración para la presente investigación fue el de buscar propiciar una experiencia completa durante la aproximación metodológica, que incluye procesos que van desde la conceptualización del proyecto por medio del uso de las herramientas analógicas, el manejo de los instrumentos paramétricos y los medios digitales, las actividades relativas a la fabricación digital, entre otros procesos que

finalmente sumarían a la construcción de un proyecto en una escala real. Precisamente esta experiencia completa, y sobre todo pragmática, es la que se consideró buscar lograr en la presente investigación para experimentar con mayor grado de posibilidades durante la aproximación metodológica y no quedarse únicamente a las oportunidades dadas en un entorno virtual.

3.14. Ejemplos de implementación académica

Además de comentar y resaltar el potencial de los distintos conceptos y herramientas que abarca la presente investigación, hay que reflexionar y ejemplificar por medio de casos análogos cómo es que se ha dado la adopción de éstas por medio de iniciativas, programas y proyectos experimentales llevados a cabo en distintas universidades alrededor del mundo.

Un ejemplo situado en Europa -y cuya metodología se analiza a mayor profundidad posteriormente- se documenta en el escrito titulado *Técnicas de diseño paramétrico*, y este proyecto se ejecutó en la Universidad de Granada durante el ciclo escolar 2011 – 2012; un párrafo de esta publicación expresa:

El seminario se ha desarrollado a través de una serie de conferencias en las que varios profesionales y grupos de investigación nos han mostrado sus trabajos, ponencias teóricas donde se han estudiado los conceptos teóricos fundamentales, clases prácticas en las que se ha aprendido a utilizar Grasshopper, Rhinoceros y Ecotect; y por último unos talleres en los que se han diseñado los proyectos/prácticas del seminario (Universidad de Granada, 2012, pág. 3).

A lo largo del documento se puede observar que el evento comienza por medio de la ponencia en diversas conferencias, con el enfoque de generar un cambio de perspectiva y abrir nuevas posibilidades a los alumnos bajo la integración de herramientas epistemológicas, computacionales, entre otras; se procede con la impartición de talleres teóricos y prácticos, dando inicio con la revisión de fundamentos matemáticos, geométricos, físicos entre otros conceptos teóricos, después se procede a la práctica de herramientas digitales como Rhinoceros, Grasshopper, Geco® y Ecotect®; por último,

se finaliza con la integración de lo aprendido por medio del desarrollo de proyectos de diseño de naturaleza libre, promoviendo al mismo tiempo la colaboración e hibridación entre distintas disciplinas al incluir integrantes de diferentes carreras como se puede observar en la figura 25.



Figura 25: Extracto de los talleres llevados a cabo en la UGR. Fuente: Universidad de Granada (2012)

El escrito concluye con la presentación de resultados gráficos de los diversos proyectos generados a lo largo del seminario, y por último se observa un resumen de los datos más relevantes obtenidos a partir de una retroalimentación a los participantes y docentes con el fin de conocer su experiencia a lo largo del evento, presentando finalmente conclusiones positivas, como se puede observar en la figura 26.

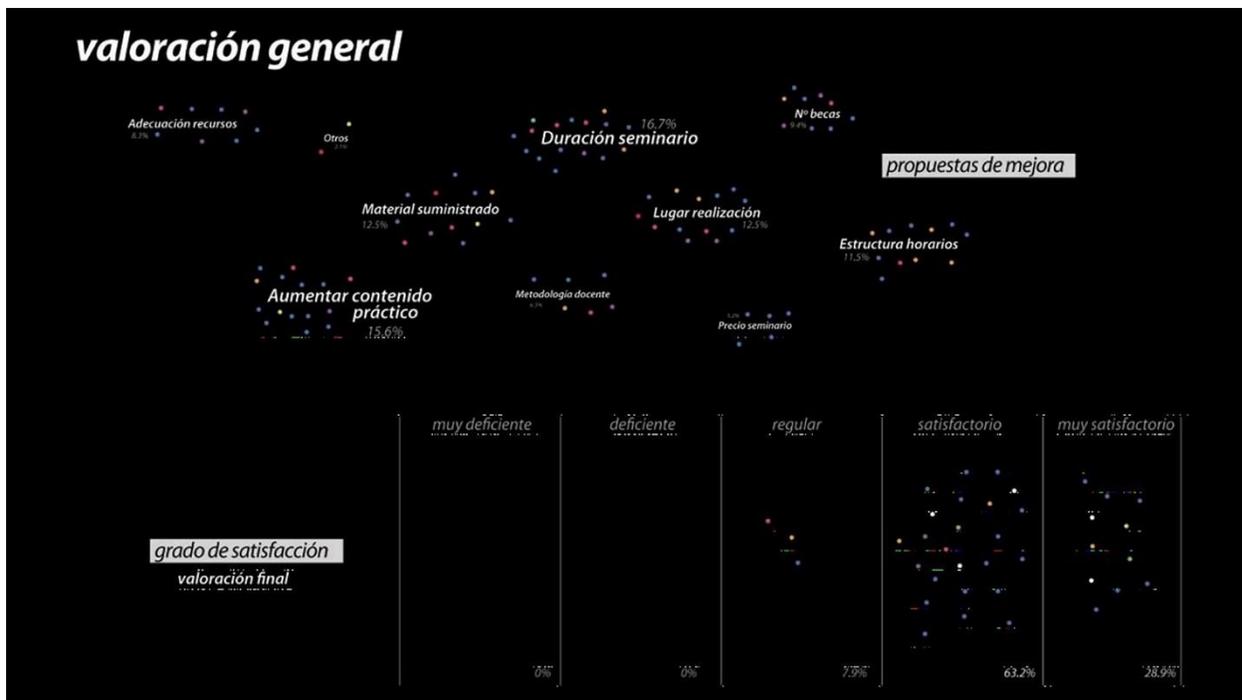


Figura 26: Extracto del apartado de valoración. Fuente: Universidad de Granada (2012)

Además del ejemplo de la UGR, se conoce otro que se sitúa en México de parte de la Universidad de Monterrey en México (UDEM); al examinar el mapa curricular del plan de estudios de 2015 del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Monterrey, se observa una materia denominada *Elementos de la Arquitectura*, cuyas expectativas se describen de la siguiente manera: “Al concluir esta asignatura, el alumno será capaz de comprender los principios de la composición arquitectónica, con el fin de explorar la interrelación de cada uno de sus elementos resolviendo necesidades funcionales y de criterio estructural” (Universidad de Monterrey, 2015).

En esta materia, se pueden también apreciar diversos resultados empíricos divulgados en distintas publicaciones, los cuales fueron trabajados por alumnos de la UDEM y se denominan como *Bichos*, éstos descritos como una familia de pabellones paramétricos fabricados tanto por alumnos en apoyo y orientación de los docentes, un ejemplo de un pabellón de este tipo se puede observar en la figura 27.



Figura 27: Pabellón *Bicho3* fabricado en corte a laser y otras técnicas por alumnos de la UDEM. Fuente: ArchDaily (2015)

Un párrafo de la publicación titulada *Monterrey: estudiantes de primer año realizan pabellón 'Bicho3' a base de experimentación paramétrica* describe el proyecto de la siguiente forma:

(...) El proyecto es parte de una serie de arquitecturas a pequeña escala llamadas “Bichos” que se empezaron a desarrollar en el 2013 dentro del mismo curso, impartido por Daniela Frogheri y Fernando Meneses. Estos ejercicios tienen el objetivo de fomentar el uso de las herramientas de diseño paramétrico, generativo y de fabricación digital desde el primer año de la carrera de Arquitectura. (...) El sistema genera las piezas, las desarrolla, las enumera y las prepara para su disposición en las láminas de corte, por lo tanto, ninguna de las piezas fue diseñada ni dibujada a mano, más bien fueron conformadas por el sistema. La fabricación fue ejecutada completamente por parte de los estudiantes que experimentaron la importancia de la organización que está a la base de estos tipos de sistemas (Cruz, 2015).

Como lo indica el texto, además de favorecer una experiencia por medio de la integración de herramientas paramétricas y generativas permitiendo así una exploración formal compleja, se propicia el desarrollo de sistemas que generarán un resultado más que el

producto en sí, facilitando a los alumnos una forma de trabajo dinámica y que apertura nuevas oportunidades en el diseño de proyectos con un enfoque distinto al tradicional.

Asimismo, otro ejemplo destaca con la iniciativa en la asignatura de Arquitectura Paramétrica y Fabricación Digital de la Escuela de Arquitectura de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) cuya descripción indica:

El uso de herramientas digitales va más allá del control geométrico de la forma arquitectónica, ofreciendo herramientas tanto de dibujo como de parametrización y generación de formas. La fabricación digital permite además integrar en la Arquitectura la posibilidad de ensayar en el plano físico el comportamiento de dichas formas, no sólo desde el punto de vista del diseño sino de su comportamiento estructural, adecuación de los materiales, relación del edificio con el medio ambiente. Esta asignatura pretende introducir al alumno en estos procesos de diseño como vía de exploración y ampliación de los conocimientos adquiridos a lo largo del grado (UPV, 2021).

En esta materia también se conoce un ejemplo pragmático por medio del pabellón paramétrico denominado *Armadillo* observado en la figura 28, con el cual los alumnos pretendieron generar un espacio de trabajo íntimo con el manejo del cartón en tamaño estándar, para crear piezas ensamblables limitadas a las dimensiones de la máquina de corte a laser. El escrito *País Vasco: estudiantes construyen pabellón de cartón en base al diseño paramétrico* describe el aspecto técnico del pabellón de la siguiente forma:

El resultado es un diseño que consta de 741 piezas, todas diferentes entre sí y mediante la numeración de las mismas se ha facilitado el montaje. Las dimensiones totales son de 7 metros de largo, 4,5 de ancho y 2,2 de alto. El material utilizado ha sido el cartón de nido de abeja de 1,5 cm para lograr la estabilidad necesaria. La duración del corte de las piezas en la máquina de corte láser y la del montaje ha sido de 50 horas y 2 horas respectivamente (Franco, 2015).

Del mismo modo como en el ejemplo de Bichos, se puede inducir que tanto para el diseño, enumeración y otros procesos íntegros en la fabricación digital de las 741 piezas diferentes que componen el proyecto, se desarrollaron sistemas con el manejo de distintas herramientas paramétricas con el fin de resolver el proceso más que diseñar el resultado en sí, para finalmente obtener diversas iteraciones, y así materializar la que mejor cumple con los requisitos espaciales, económicos, técnicos, entre otros.



Figura 28: Pabellón *Armadillo* fabricado en corte a laser y el manejo de otras técnicas por alumnos de la UPV. Fuente: ArchDaily (2015)

Otro ejemplo en México, se observa en la Universidad de Guadalajara en el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD), (CUAAD, 2016) en el que se llevó a cabo un taller de diseño algorítmico organizado por el despacho de arquitectos *GGArchitects*; finalizando éste, se exhibió también un pabellón paramétrico diseñado y montado durante cuatro días por 30 alumnos de arquitectura participantes del taller, ejemplo que se puede observar en la figura 29.



Figura 29: Pabellón fabricado por alumnos del CUAAD en colaboración con el despacho GGarchitects. Fuente: CUAAD (2016)

Un párrafo del escrito titulado *Alumnos del CUAAD diseñan pabellón paramétrico* describe la experiencia de este taller de la siguiente forma:

El diseño paramétrico, sistema nuevo en México, puede ser aplicado a diferentes escalas, tanto en diseño industrial como en arquitectura y urbanismo. Consiste en una abstracción de una idea o concepto, relacionada con los procesos geométricos y matemáticos.

“Buscamos la oportunidad de poner en práctica en la enseñanza de la arquitectura estos nuevos sistemas, metodologías y paradigmas, y acercar a los estudiantes a los nuevos métodos que están utilizando en despachos internacionales”, señala Roberto Argüelles. Agrega que con estos sistemas los alumnos pueden tener la oportunidad de experimentar la arquitectura con herramientas con un mayor grado de complejidad (CUAAD, 2016).

Además, como lo afirma en el escrito la reflexión de parte del despacho organizador, el diseño paramétrico tiene el potencial y libertad de ser aplicado a diferentes escalas como disciplinas, y más importante es la facilitación y experimentación de estas herramientas a los alumnos en las escuelas de arquitectura, ya que permiten explorar nuevas

oportunidades más complejas a tradicionales junto a la posibilidad de conocer métodos utilizados en despachos internacionales, todo esto abre la oportunidad de que la formación de nuevas generaciones de estudiantes cumplan con las expectativas competitivas de varios despachos.

Otro ejemplo de un pabellón experimental en México se observa de parte de la Escuela de Arquitectura Arte y Diseño del Campus Monterrey, descrito en la publicación *Pabellón Paramétrico DIGFABMTY2.0, proyecto experimental de estudiantes mexicanos* (Morfín, 2015) y como resultado de la materia denominada *Tecnología Avanzada de la Arquitectura*, en la cual se desarrolla y presenta un pabellón prototipo denominado *DIGFABMTY2.0* el cual funciona como un punto de encuentro, ejemplo que se puede observar en la figura 30. El pabellón fue generado con el uso de las herramientas Rhinoceros y Grasshopper -de modo similar como lo fueron los ejemplos previamente descritos-, un producto materializado con el manejo de diversos plásticos y ensambles. El proyecto se diseñó en un periodo de 2 semanas, pasó por corte a laser 2 días para finalizar con el ensamble de las 304 piezas en 3 días adicionales (Morfín, 2015).



Figura 30: Pabellón *DIGFABMTY2.0*, fabricado por alumnos del EAAD. Fuente: Morfín (2015)

Otro ejemplo se observa por medio del *Festival Internacional de la Construcción de Tongji* en China, (SUAE, SUAЕ, 2019) el cual es un acontecimiento organizado anualmente por la Facultad de Arquitectura y Planificación Urbana de la Universidad de Tongji, ubicado en Shanghai, China. En este evento participan varios equipos de diversas disciplinas, tanto de la Universidad de Tongji como de otras, y tiene el objetivo de incentivar a los alumnos para explorar la creatividad y las posibilidades geométricas dadas por medio de la construcción de pabellones a escala real, como se puede observar en la figura 31. Se manejan diferentes ensambles, piezas, componentes, y materiales que van desde el cartón hasta componentes más sofisticados como metales, plásticos, maderas, ensambles especiales, entre otros.

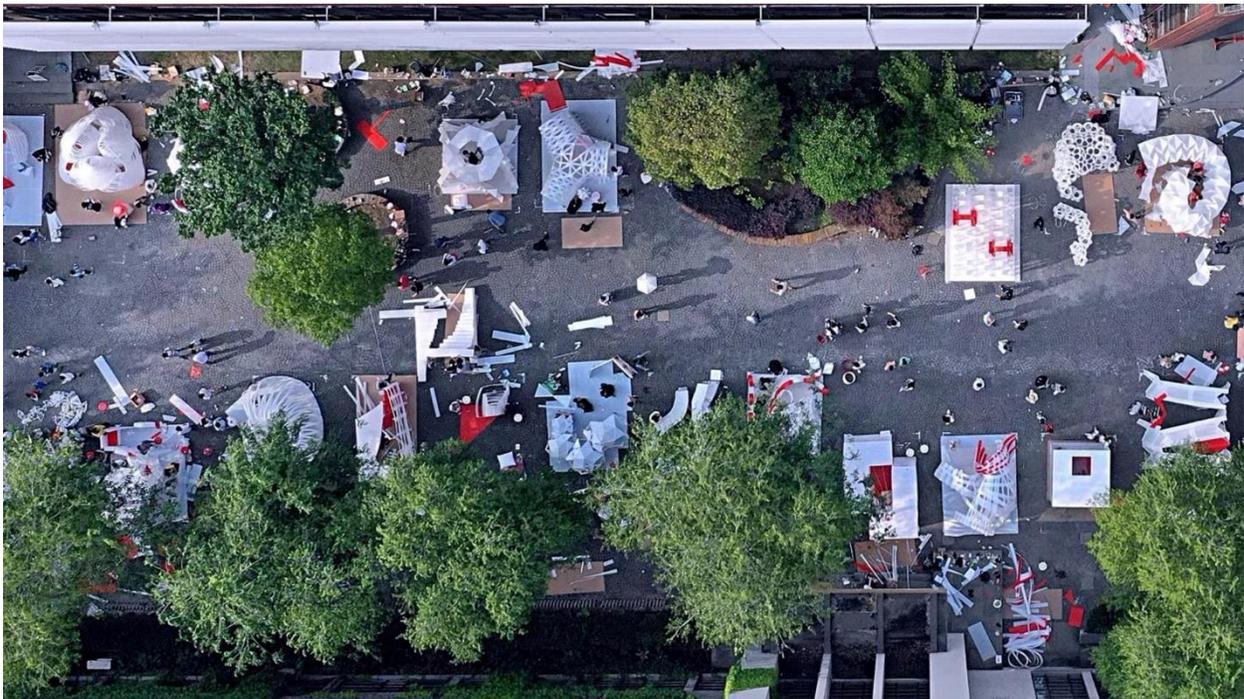


Figura 31: Festival internacional de construcción Tongji. Fuente: SUAЕ (2019)

Además, la colaboración en equipo es punto clave de este evento ya que el desarrollo de prácticas comunicativas y colaborativas entre agentes de diversas disciplinas es clave para propiciar una formación que permita una integración más fluida a los equipos de trabajo del mundo laboral. El escrito titulado *Los detalles de la enseñanza de la*

arquitectura en una universidad internacional chino-británica describe los criterios y experiencias de enseñanzas de la siguiente forma:

Anualmente, un equipo de 12 estudiantes del Departamento de Arquitectura de XJTLU participa en el Séptimo Festival de Construcción de la Universidad de Tongji. El festival brinda la oportunidad a los estudiantes de primer año de arquitectura y disciplinas afines de construir un pabellón pequeño, pero de tamaño real con cartón en un día. Esta tarea no se puede lograr individualmente, por lo tanto, todos los miembros del grupo deben negociar y contribuir al proceso. El trabajo en equipo es una buena práctica de colaboración para los estudiantes chinos que provienen de la política de "una familia, un niño" y en general, son el único niño en sus familias (Ganna, 2014, pág. 601).

Como lo indica el escrito, además de propiciar una exploración de técnicas geométricas más complejas con el manejo de herramientas paramétricas sofisticadas, hay que agregar que este tipo de prácticas adicionalmente propician habilidades de colaboración y trabajo en equipo, punto positivo adicional para los alumnos que resulta del ejercicio de estas prácticas.

Finalmente, cuando se reflexionan los ejemplos previamente descritos, hay que resaltar algunos de los beneficios por los cuáles se llevan a cabo este tipo de actividades en las universidades alrededor del mundo. Un punto predominante se da por medio de la experimentación con técnicas complejas, ya que propicia una mayor iniciativa de parte de los alumnos en la búsqueda y optimización de formas de trabajo que se facilitan por medio de la integración de nuevas herramientas tecnológicas; esta búsqueda también propicia la respectiva adopción de los instrumentos paramétricos de un modo más natural para el campo del diseño; además, se favorece una experiencia colaborativa que facilita la comunicación y el trabajo en equipo multidisciplinario, lo cual a largo plazo se verá reflejado en los grupos de trabajo profesionales dedicados al diseño arquitectónico u otras disciplinas; adicionalmente, lo aprendido tiene potencial de favorecer -o dicho en otras palabras- o contagiar positivamente la adopción de estas nuevas formas de trabajo más eficientes, junto a la incentivación en la exploración de nuevas posibilidades morfofuncionales aplicadas en el diseño arquitectónico, generando todo esto, un detonante positivo para el contexto profesional en el corto y largo plazo.

3.15. Principios del diseño paramétrico

Antes de cerrar este bloque, hay que recalcar en resumen cuáles fueron los puntos clave en función de las ideas de los diversos autores, ejemplos teóricos, pragmáticos, junto a todo lo que se explicó previamente, esto con el fin de dejar en claro cuáles son las bases que sumarán al momento de comprender el aprendizaje del diseño paramétrico. A continuación, se resumen los principios más importantes observados en la figura 32, que basan el panorama del diseño paramétrico junto a las relacionadas subyacentes temáticas.



Figura 32: Planteamiento de los principios del diseño paramétrico, base conceptual para apoyar el proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.

3.15.1. Concepto complejo y en constante evolución

Cuando se habla de un concepto complejo y que constantemente evoluciona, hay que recordar las ideas de Kurzweil que reflexionan sobre el panorama general del progreso tecnológico; en la que una generación de herramientas tecnológicas se maneja

para desarrollar a la siguiente, y así en repetidas ocasiones utilizando cada vez mejores instrumentos para crear los siguientes. Esto ocasiona una superación que inclusive se puede percibir de modo exponencial, motivo por el cual se observan contrastes en las últimas décadas; sumando a esto y como lo afirma Moore, la complejidad de los circuitos se duplica regularmente ocasionando que el costo por función se reduzca en los equipos computacionales, motivo por el cual se puede observar cómo los dispositivos móviles y considerando su compacto tamaño, compiten e inclusive superan en términos de capacidad a los ordenadores de años atrás; este contraste de progreso tecnológico constante y la consideración de su evolución a futuro, precisa que los conceptos definidos en la presente investigación se tengan que volver a considerar nuevamente en función de las nuevas herramientas e ideas de la actualidad.

3.15.2. Herramientas del pensamiento y computacionales

Hay que recordar que el diseño paramétrico y sus subyacentes no necesariamente se condicionan y nacen bajo un criterio computacional de la actualidad, mas emergen desde 1827 con los trabajos sobre matemáticas de Leslie -considerando también que esta fecha se sitúa al ser de las primeras obras documentadas que incluyen y manejan el término *paramétrico*, mas es muy probable que inclusive existan fuentes sin documentar originadas tiempo más atrás-; y como se argumentó por medio de los ejemplos de Dana, Gaudí, Otto, Moretti entre otros autores e ideas, el diseño paramétrico primero se manifiesta como una forma de percibir, procesar y trabajar un problema a partir de un contexto, originando así un proceso en la mente del diseñador, para posteriormente manifestar esta idea por medio de herramientas que resuelven un problema de diseño por medio del ordenamiento de la forma por leyes de la física, recordando por un lado el término de *form-finding* como lo ilustra Otto. Hay que retomar que fue hasta 1960 cuando Moretti expuso los primeros resultados del principio de la arquitectura paramétrica desarrollados con el uso de un ordenador, y posterior a este acontecimiento se despliega la época de la información facilitando a los sectores laborales nuevos instrumentos que evolucionan cada vez más en su complejidad. Motivo por el cual, primero es adecuado

desarrollar un criterio de pensamiento y percepción paramétrica de un modo epistemológico, para posteriormente integrar éste a las herramientas computacionales de la actualidad, ya que como lo indica también Schumacher, solamente manejar instrumentos generativos sin un proceso de pensamiento, puede ocasionar derivaciones borrosas al absorber discretamente la complejidad del contexto.

3.15.3. Visualizar el sistema detrás de los resultados

Cuando se labora con el diseño paramétrico es importante empezar a examinar cuál es el proceso que genera un resultado, percibiendo sobre todo el orden complejo de las cosas -idea relacionada a los pensamientos de autores como Bertalanffy y Morin- como los distintos cuerpos de subsistemas que integran un sistema detrás de un elemento; consideraciones espaciales, formales, funcionales, económicas, políticas, sociales, culturales, éticas, ambientales, geográficas, entre sinfín de relaciones que componen el panorama del contexto que rodea un determinado problema. Hay que considerar que, abstraer y trasladar todo un sistema complejo -que es dinámico y está en constante cambio- a un proceso es una tarea cercana a lo imposible, sin embargo, los diseñadores pueden analizar y considerar cuáles principios y relaciones de parte del contexto se pueden recuperar, abstraer y trasladar a un proceso programable.

3.15.4. El problema cuenta con fuerzas contextuales

Al articular las ideas de Alexander, Otto, Schumacher, entre otros autores, se pueden comprender las relaciones del entorno complejo como una serie de fuerzas del contexto que ordenan una forma -recordando el principio del *form-finding*-, originando así soluciones morfofuncionales -donde la línea entre forma y función desaparece y estos dos conceptos se integran- que responden y se ordenan ante las demandas contextuales de un modo más natural, de modo similar como lo es un ser humano, un resultado de fuerzas genéticas, biológicas, evolutivas, geográficas, psicológicas, sociales, culturales,

entre diversos criterios que generan nuestra forma de ser. Habrá que también considerar que algunas de estas fuerzas son sencillas de abstraer, cuantificar y programar por medio de un proceso, como pueden ser criterios funcionales, económicos, físicos, ambientales entre otros, mas la situación cambia cuando se tratan factores que involucran principios subjetivos y humanísticos que no son tan sencillos de computar y objetivar; por otro lado, cabe resaltar que los productos morfofuncionales evocan una geometría fuera de lo convencional, estimulando inclusive todo un nuevo movimiento estético.

3.15.5. Diseñar procesos más que resultados

Como lo afirma Hesselgren, al manejar una forma de pensamiento y de trabajo diferente, el enfoque de diseño cambia de un resultado en concreto al desarrollo de todo un proceso que generará un producto. Al diseñar y programar un procedimiento, es posible obtener -y como lo indican y ejemplifican Alexander, Kolarevic, Kowalski, entre otros autores- millones de iteraciones para así elegir la mejor de todas que responde ante un problema específico. En esta forma de trabajo, también se alinean varias ventajas de la automatización, ahorrando así tiempo, evitando errores, propiciando mejoras competitivas, mejorando la calidad de productos, favoreciendo la reutilización, entre otros beneficios más.

3.15.6. Visualizar la integración de subsistemas

Cuando se ataca el diseño de todo un proceso en general, éste se puede llegar a conformar por subsistemas que resuelven conflictos particulares; dicho de otra forma, podemos dividir el problema general para resolver partes más pequeñas. Esta lógica también se puede trasladar al diseño de un algoritmo, en el que se pueden desarrollar subalgoritmos por bloques, que resuelven ciertos problemas particulares de un proyecto -como lo puede ser el análisis de radiación solar, la generación de una estructura, muros,

elementos de confinamiento, entre otros aspectos-, de esta forma se pueden reutilizar e integrar diversos subalgoritmos para conformar otros más complejos, generando así también una evolución en términos de complejidad programática a lo largo del tiempo, con el fin de no sólo atacar conflictos básicos, sino empezar a resolver problemas progresivamente más complejos.

3.15.7. La geometría y la estética como resultado de un proceso

Una confusión que se puede originar es la definición y asociación del diseño paramétrico primeramente al de un estilo estético denominado por formas oblicuas u orgánicas; es importante recalcar que las geometrías originadas son producto de una forma de pensar y trabajar manifestadas por un proceso, ya que al ordenar la solución de un problema en función de las fuerzas del contexto resueltas trasladadas en un proceso, se obtienen comportamientos geométricos fuera de lo convencional, inclusive se podría asociar este comportamiento a una estructura más *líquida y dinámica* que *rígida y estática*. Por otro lado, este modo de pensar y trabajar origina precisamente la necesidad de categorizar el comportamiento geométrico en nuevos movimientos y estilos estéticos.

3.15.8. Modificación de flujo de trabajo y roles

Esta forma de trabajo ocasiona una modificación en el flujo de trabajo y las responsabilidades destinadas a los diseñadores, ya que tanto la computadora como el humano requieren de una colaboración bidireccional más íntegra con el paso del tiempo. Será ahora el diseñador quien abstraiga las diversas relaciones del contexto y las programe en un proceso inicial, y el equipo computacional aprovechará la capacidad de procesamiento de datos cuantificables para generar las diversas iteraciones que son producto de un proceso, el humano nuevamente revisará los resultados obtenidos para así elegir el mejor de todos, y procede a los ajustes respectivos y procesos de fabricación digital, entre otros hasta llegar a la materialización de un producto; en pocas palabras, la

brecha colaborativa entre humano y ordenador se difumina hasta establecer un flujo de trabajo más íntegro.

3.15.9. La computación de los aspectos humanísticos

Por último y en función de lo anteriormente comentado, existe la posibilidad de que se pueda asociar una perspectiva negativa sobre la inteligencia artificial con el potencial de reemplazar la interacción y las responsabilidades humanas; mientras que este punto es abierto a la argumentación desde varias perspectivas, dicho desde una hay que tener presente que por un lado ciertos criterios de diseño humanísticos son subjetivos y complejos de cuantificar, como lo pueden ser los aspectos estéticos, artísticos, éticos, sociales, entre otros de un proyecto, complicados de percibir y resolver todavía para un equipo computacional. Mientras que la computadora no se abstiene por completo de tratar de resolver estos criterios humanísticos, es finalmente el humano quien cuenta con una mejor sensibilidad frente a los problemas subjetivos y no cuantificables; este punto de vista permite el argumento de que por más avanzado que llegue a evolucionar un equipo computacional, se requerirá finalmente cierto grado de interacción humana para lograr los mejores resultados a un determinado problema, mas también no hay que perder de vista -y como se mencionó previamente- que la evolución de los instrumentos computacionales modificará continuamente la cantidad de interacción humana requerida en un diseño.

4. Hipótesis y objetivos

Comprendidas las bases teóricas del tema explicadas previamente junto a la identificación del problema de investigación mencionado al inicio del documento, se planteó la hipótesis para el proyecto de investigación de la siguiente forma:

El acercamiento al diseño paramétrico sensibilizará a los alumnos de la licenciatura en arquitectura de la UAQ para la diversificación geométrica en el diseño de proyectos de diseño.

Y en función de la hipótesis se establece asimismo el objetivo general de la siguiente manera:

Sensibilizar a los alumnos de la licenciatura en arquitectura de la UAQ con la implementación de una aproximación metodológica didáctica por medio de un diplomado para la diversificación geométrica en el diseño de proyectos de diseño.

Y finalmente, teniendo en cuenta el objetivo general de la investigación también se desglosaron y plantearon los objetivos particulares de la siguiente forma:

- Diseñar una aproximación metodológica por medio de un diplomado para la sensibilización a métodos y herramientas del diseño paramétrico en los estudiantes de la licenciatura en arquitectura.
- Caracterizar el grupo experimental y grupo de control para caso de estudio y obtención de resultados.
- Ejecutar la aproximación metodológica por medio de un diplomado para la sensibilización a métodos y herramientas del diseño paramétrico.
- Obtener resultados cualitativos y cuantitativos
- Generar conclusiones a partir de la observación y comparación de resultados.

5. Metodología

A continuación, se describen los puntos metodológicos como lo son las consideraciones preliminares, estudio de la población, análisis de ejemplos, pruebas preliminares, planeación del diplomado junto a su respectiva ejecución y dirección, retroalimentación

posterior entre todo tipo de acontecimientos, productos y aspectos relevantes que se desarrollaron a lo largo del proyecto de investigación.

La metodología nace primeramente a partir de una planeación preliminar con el fin de visualizar un panorama general que engloba todo el proyecto tratando de precisar posibles directrices y acontecimientos que tomarían vida a lo largo de la investigación; algunos de estos fueron rígidos mientras que otros se plantearon a modo flexible con el fin de permitir su debido ajuste a lo largo del tiempo, considerando que la estructura metodológica permitiera cierto grado de permeabilidad a las diversas dinámicas desarrolladas a lo largo de la investigación. Hay que aclarar que mientras la primera configuración metodológica se estableció con el fin de precisar una primera idea sobre las directrices que la investigación puede seguir, se consolidó posteriormente un eje rector metodológico definitivo al cual el proyecto de investigación finalmente se apegó.

La primera configuración metodológica como se observa en la figura 33, se planteó a modo de una guía conformada por un eje rector con algunos acontecimientos generales que se desglosan en diversas ramas, posibilidades, consideraciones, preguntas, entre todo tipo de aspectos específicos que permitieran expandir las oportunidades que la investigación puede enfocar a lo largo del tiempo; lo presente se desarrolla a modo de una *lluvia de ideas* -o conocido también en inglés como *brainstorming*-, que por un lado permitiera plantear el conocimiento consolidado de parte del investigador y por otro abrir nuevas directrices a conceptos complementarios.

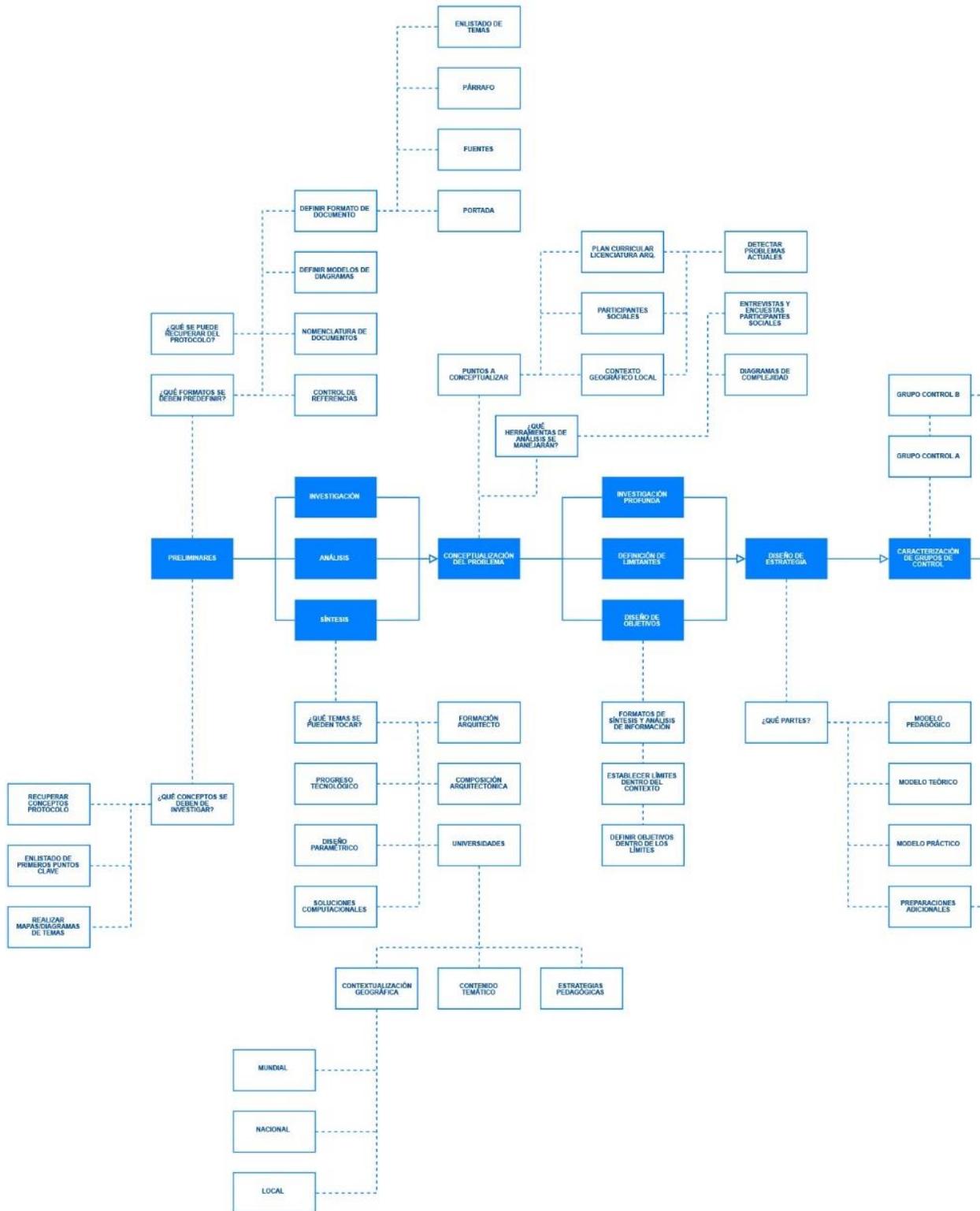
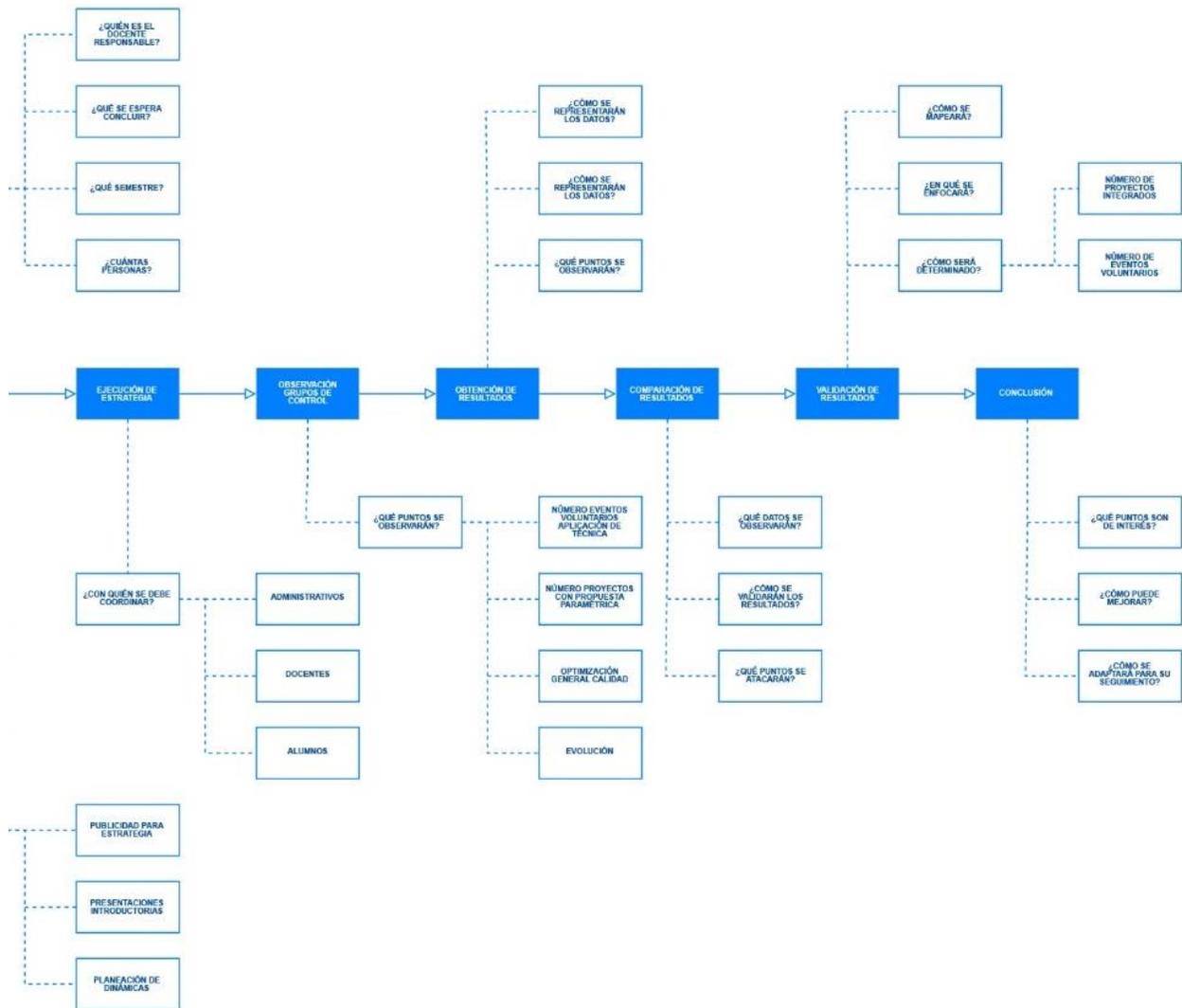


Figura 33: Planteamiento metodológico preliminar. Fuente: elaboración propia.



Mientras que algunos acontecimientos del planteamiento metodológico preliminar se respetaron, otros se fueron ajustando a las nuevas oportunidades a lo largo del proyecto de investigación. Hay que resaltar que uno de los factores que influyó en el respectivo ajuste metodológico a lo largo de la investigación fue el modo en que se pretendía ejecutar la aproximación metodológica en el contexto universitario de la UAQ; ya que en un inicio se consideró la posibilidad de organizar una actividad extracurricular con los alumnos, evolucionó a la consideración de un posible curso entre 20 a 50 horas, posteriormente a una probable materia optativa de más tiempo y al final se presentó la oportunidad para la organización de todo un diplomado con duración de 100 horas; aclarando que la decisión del modelo empleado para la planeación, organización, dirección y control de la aproximación metodológica se rigió en torno a las posibilidades que la institución universitaria presentó, dando como efecto la reconsideración del material empleado en varias ocasiones a lo largo de la investigación.

A continuación, se visualiza en la figura 34 la estructura metodológica definitiva que se ejecutó a lo largo de la investigación en la que se enmarcan las principales etapas que tomaron parte de la investigación, y posteriormente también se describen los puntos metodológicos más relevantes a profundidad. Mientras que los resultados y conclusiones definitivas se detallan al final del escrito, hay que aclarar también que el haber desarrollado y ejecutado una prueba preliminar -en otras palabras, un *experimento del experimento*- a lo largo de la investigación, se incluyen en paralelo algunas observaciones relevantes que presentaron bases para la planeación definitiva de la aproximación metodológica empleada en el diplomado.

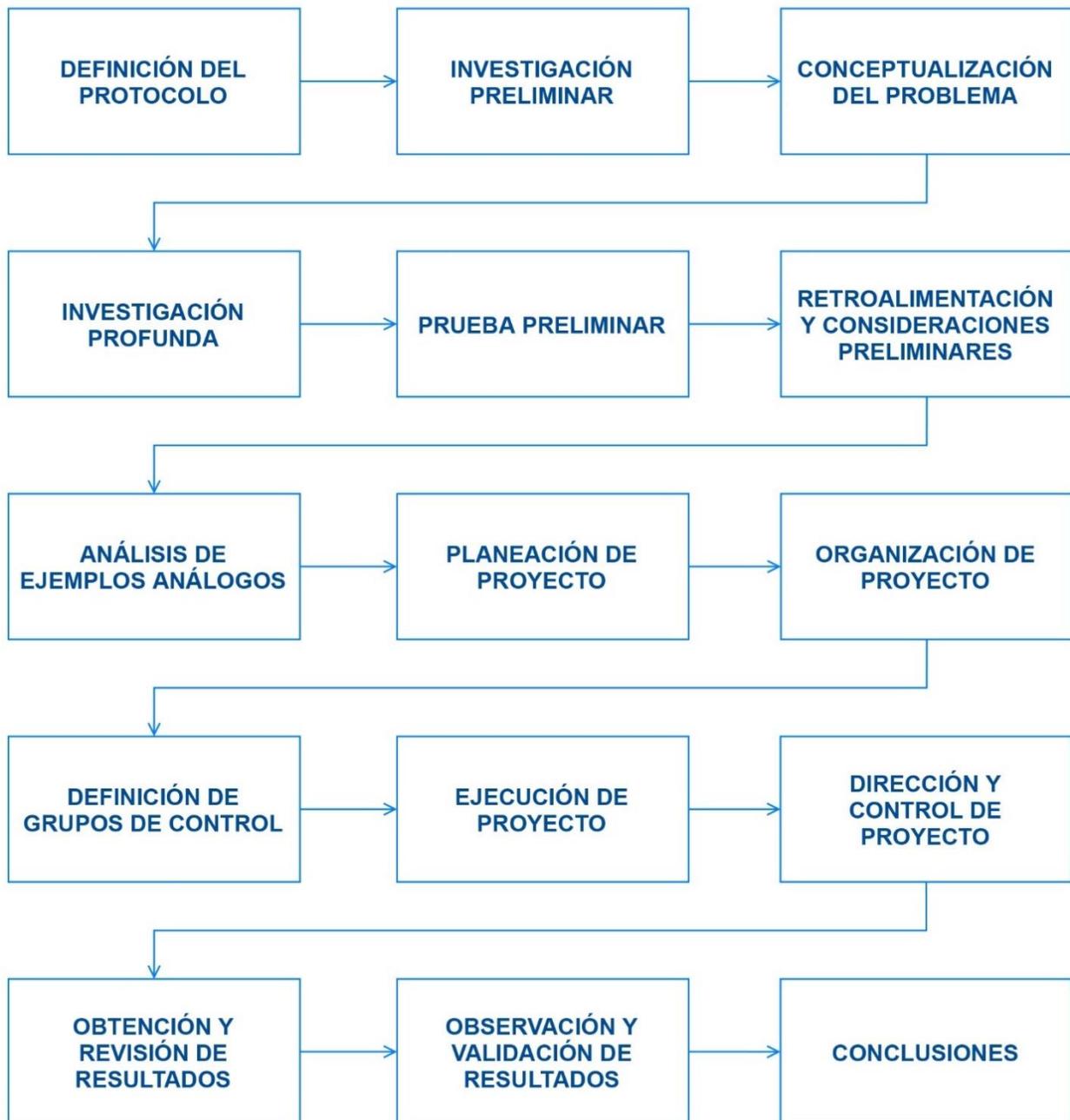


Figura 34: Planteamiento metodológico preliminar. Fuente: elaboración propia.

5.1. Preliminares

Como en todo proyecto de investigación se requiere hacer una planeación estructurada de lo que se va a realizar bajo un protocolo de investigación, mientras que se evita explayarse en este apartado es importante aclarar algunos de los puntos que impactaron el proyecto de investigación.

5.1.1. Limitantes debido a la contingencia sanitaria

Es importante destacar que en el entorno de Santiago de Querétaro y con la imposición de una crisis sanitaria en el mundo originada por la pandemia COVID-19, se dio la necesidad de confinar a la población desde el mes de mayo en el año del 2020, situación que se extendió a lo largo del periodo de 2021 y continuó a lo largo del año 2022. Esta limitante ocasionó que la ejecución de gran parte de las actividades a lo largo del proyecto de investigación se diera bajo medios y entornos virtuales, como lo fue la recopilación de datos, la ejecución de la prueba preliminar, el desarrollo y ejecución de gran parte del diplomado, junto a la respectiva retroalimentación y obtención de resultados.

Mientras que la investigación se ejecutó mayoritariamente a través de medios virtuales en conjunto con algunas actividades esporádicas -con la toma de medidas sanitarias adecuadas- que se llevaron a cabo de modo presencial, es muy probable que la investigación junto a la ejecución de la aproximación metodológica pudo haber mejorado con el balance entre medios virtuales y presenciales, bajo un modelo de trabajo híbrido sin la presión y los efectos negativos generados por un brusco cambio de modelos laborales debido a una crisis sanitaria.

5.1.2. Perfil del investigador

Por un lado, cabe aclarar que el investigador responsable de la investigación tiene un perfil de coordinador BIM y en paralelo es docente de la UAQ -al momento en que se llevó a cabo la investigación-, motivo por el cual tanto el tema de investigación como esta parte metodológica se consideraron con el fin de aprovechar las oportunidades y ventajas ya presentes del posicionamiento existente en el entorno universitario. Al momento de llevar a cabo la investigación, en paralelo se impartía la asignatura en la licenciatura en arquitectura denominada como *Taller de proyecto ejecutivo 2 (laboratorio)* que forma parte del plan curricular ARQ-12. Con el fin de llevar a cabo una prueba preliminar lo más fructífera posible -y aclarando también que la línea temática de la asignatura de laboratorio [BIM] se alineaba con el eje temático de la investigación [Diseño Paramétrico]-, se consideró que ésta se desarrollara dentro de la misma materia como adición temática para los alumnos de arquitectura de octavo semestre, procurando cumplir con los lineamientos establecidos en la investigación y empleando la oportunidad para que los estudiantes en paralelo pudieran implementar los conceptos aprendidos en el diseño de su proyecto arquitectónico -para otra asignatura bajo el nombre de *Taller de proyecto ejecutivo 2* en el que se pretendía diseñar un hospital-. Con la posibilidad de haber ejecutado una prueba preliminar lo más beneficiosa posible, esto finalmente permitió observar todavía más comportamientos de los esperados, obtenidos a partir de la retroalimentación posterior que se realizó a los mismos alumnos por medio de una encuesta, en conjunto con lo concebido en los proyectos de diseño arquitectónico -los cuáles se revisaron una vez concluido el semestre-.

5.1.3. Periodo de trabajo 2020-2021

Presente proyecto de investigación se limitó a un periodo de trabajo de dos años, motivo por el cual diversas decisiones tanto en la planeación y ejecución de la exploración -entre otras subyacentes del proyecto- se adecuaron a etapas concretas planteadas a las constricciones de tiempo, como se puede observar en la figura 35.



Figura 35: Cronograma de actividades para proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.

5.1.4. Consideraciones éticas

Asimismo, el proyecto de investigación también se rigió bajo consideraciones éticas instruidas por el comité de ética de parte de la UAQ; es importante aclarar que al momento de tratar con participantes sociales fue importante el manejo de dos documentos adicionales, el primero en formato de carta de consentimiento informado de parte de los participantes al investigador, y el segundo a modo de carta de confidencialidad de parte del investigador a los participantes (documentos que se incluyeron en el apartado de anexos), lo dicho con el fin de evitar todo tipo de riesgos como lo puede ser la generación de conflictos de intereses. Además, se aclaró en todo momento que toda participación, material e información generada tanto en la prueba preliminar como a lo largo de la ejecución del diplomado se documentaría en un proyecto de investigación, manteniendo anonimato en el trato y documentación de los datos recopilados, y empleando datos personales únicamente con el permiso escrito de los participantes implícitos.

Asimismo, cabe aclarar que todas las herramientas digitales se manejaron bajo licencia demostración, evaluación, educacional y gratuita respectivamente; al ser el empleo de los diversos instrumentos computacionales para fines educativos, las compañías responsables en el desarrollo e implementación de cada herramienta en el mercado facilitan también el acceso a éstas a las instituciones universitarias como los estudiantes que las conforman.

5.2. Estudio de población

Una vez identificado el problema -punto que se describió al inicio del documento- y considerando también la población tentativa que tomaría parte en la aproximación metodológica, se realizó una encuesta de evaluación general a los alumnos de la carrera de arquitectura en la UAQ de 8° y 10° semestre, en la que se obtuvieron 20 y 60 respuestas respectivamente, esto con el fin de comprender la perspectiva y experiencia general de parte de los estudiantes para finalmente obtener parámetros que permitieran una mejor estructuración en la aproximación metodológica empleada.

Además de representar información valiosa para la investigación, tanto el formato de la encuesta (resumida en los anexos) como los datos recopilados -recordando que se mantuvo en todo momento anonimato debido a las consideraciones éticas- se trabajaron en conjunto con la coordinación de la licenciatura en arquitectura de la UAQ, lo cual además de haber permitido obtener un mayor número de evaluaciones se consideró con la finalidad de que la información generada contribuyera con perspectivas sobre las virtudes como las áreas de oportunidad que dispone la carrera para su respectiva mejora continua en el largo plazo, lo cual y en concreto, presentó un beneficio paralelo tanto para la investigación como para la coordinación de la licenciatura en arquitectura.

En resumen, la encuesta se compuso de 9 apartados clave con preguntas de naturaleza específica, cerrada, abierta, *Escala de Likert* -en otras palabras, valoraciones que van del 1 al 5 para identificar si éstas se asocian a la negatividad, neutralidad o positividad- procurando el formato sea lo más sencillo, legible y fluido de responder. Por lo que casi

todas las preguntas se manejaron con respuestas predefinidas o de opción múltiple, mientras que una minoría presentaron la posibilidad opcional de adicionar con retroalimentación de párrafo abierto. Mientras que no se esperaba obtener respuestas opcionales, hay que resaltar que se observó que más de la mitad de los encuestados favorecieron por voluntad propia dicha información adicional permitiendo así manejar un esquema tanto cuantitativo como cualitativo en el estudio de la población.

Algunos de los apartados que formaron parte de la encuesta fueron primeramente *perfil del estudiante*, este con la intención de conocer algunas de las habilidades, intereses, desintereses, motivos de ingreso, entre otros aspectos de los escolares; *carrera* con el objetivo de generar una evaluación general sobre la licenciatura, evaluar misión, visión, valores, grado de satisfacción, competitividad, evaluación de las mejores herramientas, áreas de oportunidad, entre otros puntos; *plan curricular* que se enfoca en el modelo educacional que cursaron los estudiantes -ARQ-12 o ARQ-19- evaluando aspectos como los ejes disciplinarios, materias, optativas, sugerencias de inclusión o mejora, entre distintas características; *formación de habilidades* centrada en la evaluación de las destrezas obtenidas, valorando aptitudes como resolución de problemas, pensamiento crítico, creatividad, toma decisiva, ética, emprendimiento, etc.; *docentes* enfocada en evaluar distintas características de los maestros como sus técnicas -hay que agregar que este apartado se manejó en torno a la pluralidad, dejando una sugerencia abierta al final del apartado con el fin de mitigar experiencias personales-; *compañeros* para que del mismo modo como lo fue con docentes -bajo un enfoque plural- se conocieran cualidades en las relaciones de la generación, si ésta fue armónica, competitiva, cohesiva, entre otros aspectos; *infraestructura* se formó con el fin de conocer la percepción sobre los distintos espacios en los que se desenvuelven los estudiantes, obtener información tanto en sus aspectos visuales, sonoros, espaciales, estéticos, entre otras particularidades; *directivos* y *administrativos* con el fin de haber conocido el desempeño de los agentes laborales de la UAQ, tanto en un aspecto general como particular para cada espacio dejando también margen pequeño para la individualidad; y por último, sobre la *modalidad virtual*, con el fin de conocer la perspectiva de las condicionantes impuestas por la contingencia sanitaria en cuanto a características del entorno inter e intrapersonal,

adaptación docente, apoyo universitario, adaptación administrativa, consideraciones técnicas, entre otras características.

5.3. Análisis de ejemplos análogos

5.3.1. Metodología de referencia

Además de realizar un estudio sobre la población que tentativamente tomaría parte en la aproximación metodológica, se realizó un análisis de ejemplos análogos que comparten similitudes a la implementación que se pretende realizar en la UAQ. Uno de estos ejemplos -y que ya se explicó en una ocasión en apartados previos del presente documento- destaca por medio de la publicación de *Técnicas de Diseño Paramétrico* (Universidad de Granada, 2012) por el colectivo Oopart, en el que se hace una detallada descripción de los acontecimientos que tomaron parte a lo largo del evento, además, recordando que al final del documento se incluyeron valuaciones a partir de las retroalimentaciones generadas a los participantes del evento, permitiendo observar una experiencia positiva en términos generales. En función de este documento, se realizó un análisis que se puede observar en la figura 36, con el fin de desglosar la metodología comprendida para permitir recuperar y adecuar puntos metodológicos útiles a la implementación que se pretende generar en la UAQ.

En concreto, el evento consistió de 4 etapas principales; la primera de *Conferencias* fue una serie de ponencias con el fin de sembrar conceptos referentes al diseño paramétrico, presentar visiones y paradigmas; en la segunda etapa de *Ponencias teóricas* se enseñaron fundamentos matemáticos, geométricos y físicos que tomarían parte posteriormente para el planteamiento de los proyectos y el desarrollo de los algoritmos para la generación de las geometrías; en la tercera de *Clases Prácticas* se dio la enseñanza de las herramientas de trabajo paramétricas Rhinoceros con Grasshopper, junto al instrumento Ecotect® que sirve para criterios de análisis de sustentabilidad y el complemento GECO® para permitir la conexión de todas las herramientas; finalmente en la etapa de *Talleres* se llevaron a cabo las dinámicas integradoras para el diseño y desarrollo de los proyectos, finalizando el evento con su respectiva presentación.

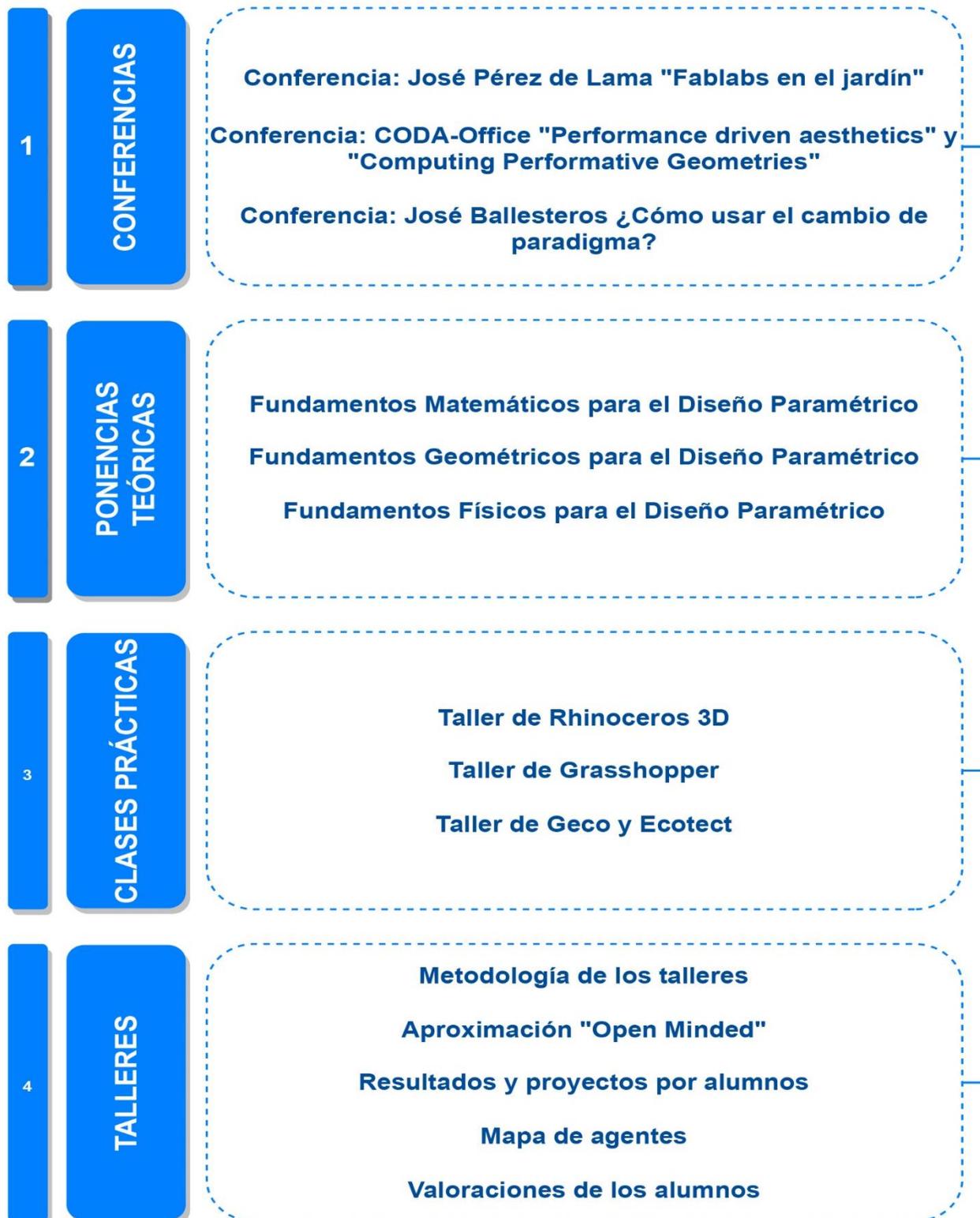
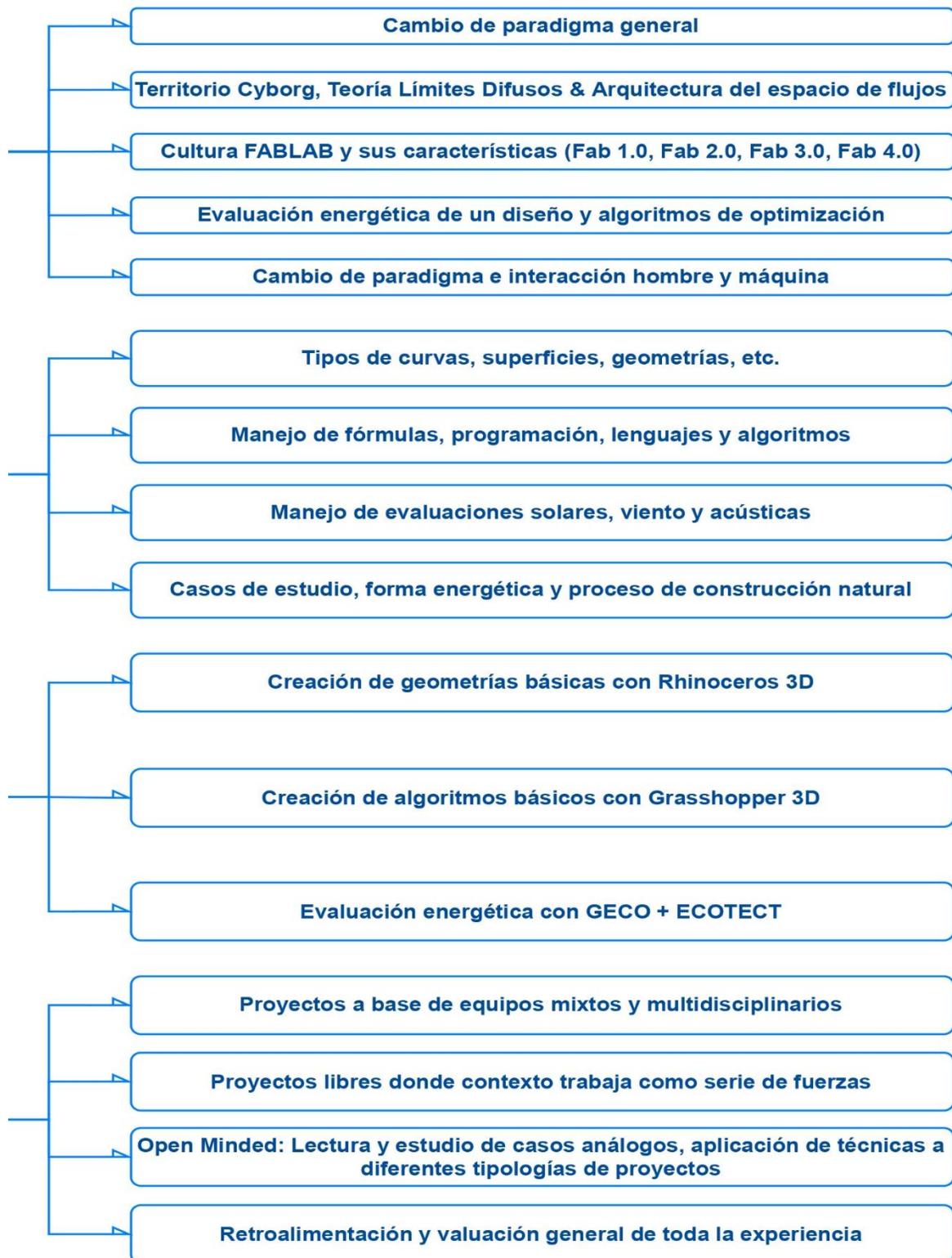


Figura 36: Análisis metodológico de la implementación dada en la UGR. Fuente: elaboración propia.



Comentadas las etapas principales del evento, un punto a resaltar fue la intención de permitir libertad total a los participantes en el planteamiento y diseño de los proyectos a desarrollar, lo se expresa bajo el concepto de *Open Minded* en inglés. Mientras que ninguna restricción a un diseño tiene sus pros y contras, hay que resaltar que para el evento de la UGR fue un acercamiento que funcionó ya que los proyectos no se requirieron fabricar a escala y se desarrollaron únicamente bajo un entorno virtual, agregando que esta libertad proyectual también permitió a los alumnos una fluida exploración y aplicación de las técnicas junto a las herramientas aprendidas en función del enfoque y habilidades con las que disponía cada equipo.

Mientras que para el contexto de la UAQ -y como se describe después a lo largo del documento- se tomó a consideración la misma intención *Open Minded* para el planteamiento de los proyectos integradores, se debe aclarar que si se hubieran manejado limitantes que encaminaran de cierto modo la propuesta inicial de los prototipos esto habría permitido una fabricación más económica y sencilla en el último módulo de la aproximación metodológica -puntos que se detallan también posteriormente a mayor profundidad-, a lo que -y conclusión destacada desde antes- hay que tener estricto cuidado con el manejo del concepto *Open Minded* al momento de planear una aproximación metodológica de este tipo, debido a que puede funcionar o no dependiente de los alcances establecidos en las actividades que se vayan a desarrollar.

Otro punto destacado fue la multidisciplinariedad de los equipos de trabajo junto a las dinámicas de trabajo que propiciaron la colaboración, ya que la publicación describe cómo se propició la diversificación de proyectos con la fusión de diferentes perfiles de participantes que participaron en el evento, permitiendo así romper cierto grado de monotonía proyectual que se podría haber generado al manejar equipos de trabajo con habilidades similares. Mientras que se esperaba que los participantes de la aproximación metodológica planteada para la UAQ presentarán el mismo perfil de arquitecto -salvo un caso con perfil ingenieril-, algo que se tuvo a consideración fue la necesidad de propiciar la colaboración a través de dinámicas que favorecieran el flujo de trabajo colaborativo, con el fin de buscar maximizar la calidad de los prototipos preliminares como los proyectos fabricados.

Adicionalmente, otro punto que se tomó a consideración en función del análisis realizado sobre la publicación, fue la necesidad de emplear sesiones destinadas específicamente a la revisión de fundamentos geométricos, matemáticos y físicos. Mientras que se considera que la enseñanza de estos temas a detalle sin duda favorece y refuerza la comprensión de los criterios adicionales que toman vida en el diseño de proyectos paramétricos junto a la programación de los algoritmos correspondientes para la generación de las iteraciones formales, algunos de los motivos por los cuáles finalmente no se consideró la destinación de sesiones específicas para la revisión de los fundamentos como tal -sino más bien la revisión de éstos conforme surja la necesidad- fue la limitante de tiempo presente desde un inicio junto a la ambición de elevar la aproximación metodológica a través de la aplicación de lo aprendido en un proyecto integrador que finalmente se materializaría a escala real; en concreto, se consideró destinar más tiempo a los conceptos que eran más probables que cobraran vida para el desarrollo de un proyecto paramétrico, como lo fueron bases teóricas, conceptos prácticos en el manejo de las herramientas, desarrollo de algoritmos, retroalimentación constante a los prototipos, junto a la consideración del tiempo necesario para la materialización del proyecto.

Por último, se consideró también la necesidad de inclusión con la revisión de criterios energéticos -o de sustentabilidad- para su respectiva aplicación en los proyectos. Mientras que en la publicación se detalla el manejo de Ecotect integrado a Grasshopper por medio del complemento GECO, hay que resaltar que para la aproximación metodológica planteada para la UAQ se consideró la inclusión del complemento LadyBug, que también permite el análisis de criterios energéticos de una geometría.

5.3.2. Parámetros de proyectos experimentales

Además de haber realizado un análisis metodológico del evento de la UGR, hay que comentar y reflexionar sobre algunos de los parámetros empleados para la construcción de los proyectos observados en los casos pragmáticos de las implementaciones

similares llevadas a cabo en las diversas universidades alrededor del mundo, que además de ser descritos a continuación también se pueden observar a modo concreto en la figura 37. Recordando que en apartados previos se llevó a cabo la descripción de cada caso e implementación, aquí se pretende únicamente explorar y definir cuáles son algunos de los factores para el planteamiento de las actividades referentes al diseño de un proyecto que conlleva su respectiva materialización experimental.

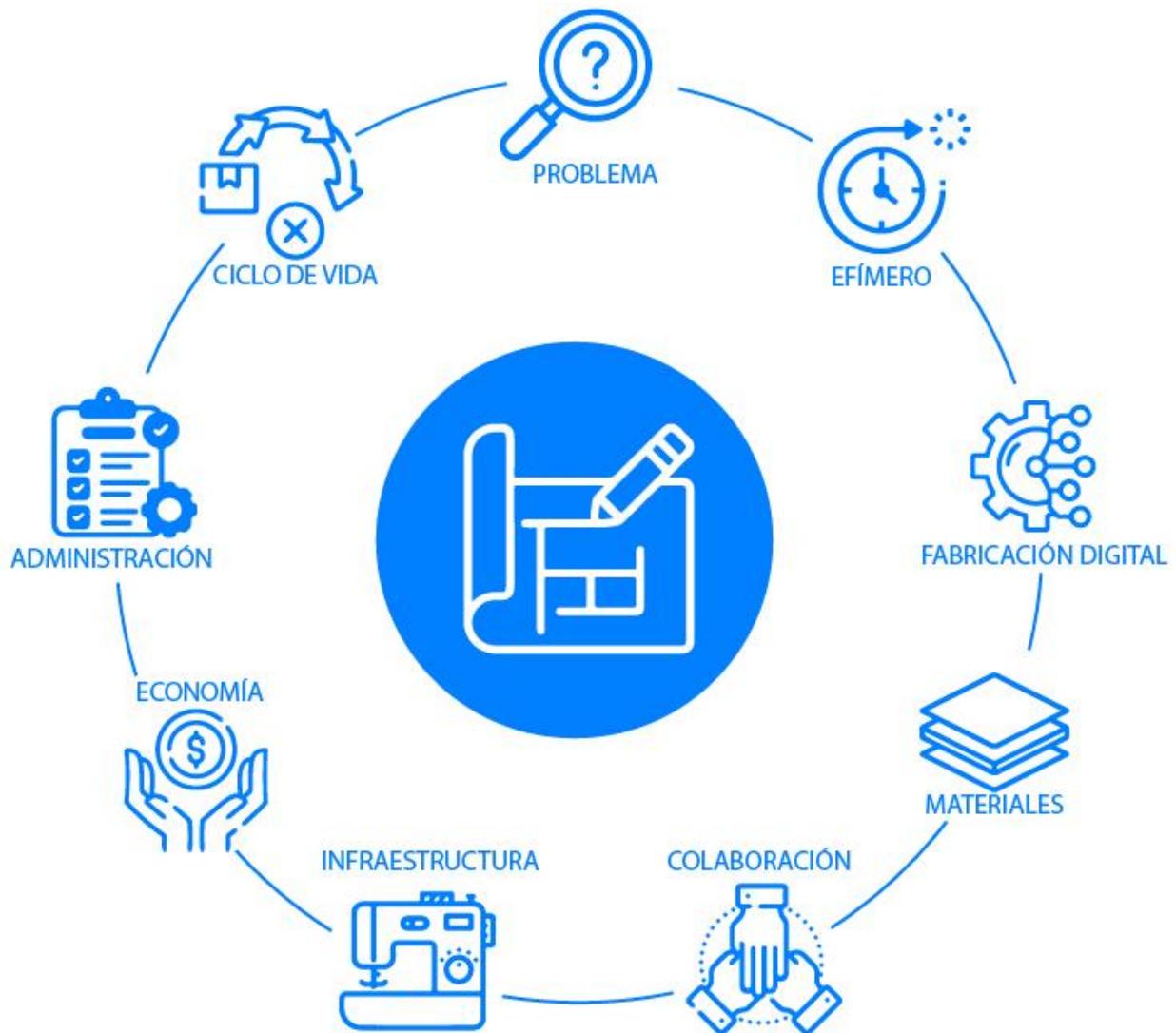


Figura 37: Parámetros para fabricación de proyecto a escala real. Fuente: elaboración propia.

- a) Primeramente, como todo proyecto de diseño arquitectónico se debe tener claridad en el problema que se pretende resolver, las necesidades del contexto, las intenciones que se buscan lograr, los participantes sociales que intervienen, el rango económico en el que se desenvuelve, entre diversos factores adicionales que originan el desarrollo de un proyecto arquitectónico; teniendo en todo momento claridad en el por qué y para qué de una intervención de este tipo, con el fin de que toda acción sume y justifique la intervención de un espacio.
- b) Por otro lado, un factor común de varias de estas exploraciones construidas se observa en el aspecto de la atemporalidad dado a través de la rama de la arquitectura efímera, ya que ésta -y como se describe en apartados previos de este documento- permite la comprobación y percepción de los comportamientos planteadas en un diseño experimental sin la carga económica junto a otros factores que toman parte de una materialización permanente, siendo la arquitectura efímera un aliado ideal para la experimentación de las técnicas y herramientas del campo del diseño paramétrico. Por lo que un parámetro en el diseño de los proyectos resalta con la consideración de su atemporalidad, dado por un periodo de montaje que no se traslade preferentemente en años.
- c) Las técnicas paramétricas en ocasiones presentan composiciones sofisticadas que por medio de métodos convencionales no se podrían fabricar, o de lo contrario tomaría un esfuerzo y tiempo significativo en lograr con técnicas tradicionales, por lo que hay que tener presentes también las oportunidades que la fabricación digital apertura. Y como se ha mencionado en apartados previos de este documento, se deberán considerar las posibilidades que permiten las técnicas de sustracción y adición dependientes del equipo con el que cuenta la institución en la que se lleve a cabo la implementación de las actividades; por lo que en resumidas cuentas, hay que tener presentes desde inicios de un proyecto las técnicas de fabricación implícitas, con el fin de no limitar el proyecto bajo ciertas composiciones geométricas sino que al contrario, abrir más posibilidades formales gracias a la fabricación digital.
- d) Adicionalmente, se puede observar el manejo de materiales económicos y flexibles en su uso además de que gran parte de éstos consideran el tema del reciclaje, como

lo son la diversidad de formas y tipos de láminas en cartón, diferentes termoplásticos, maderas, elementos impresos en 3D, entre diversos tipos ensambles que no representan una carga económica para el proyecto experimental y se pueden reciclar finalizando éste. Por lo que otro de los parámetros ideales que hay que propiciar al momento de implementar actividades que involucran la fabricación de un proyecto experimental será la consideración de un material flexible, económico y amigable con los procesos de reciclaje.

- e) Otro parámetro resalta con la propiciación del trabajo en equipo junto a procesos de organización, ya que finalmente la materialización de un proyecto experimental de este tipo requiere de un esfuerzo colectivo significativo, tanto de parte de los docentes como los alumnos involucrados, y el tamaño del equipo dependerá en gran medida a la cantidad y complejidad de los proyectos que se pretendan materializar. A lo que se deberá de tener cuidado por un lado de organizar correctamente a los agentes involucrados en el proyecto para manejar procesos eficientes que finalmente sumen a la materialización del proyecto, y por otro lado propiciar una comunicación eficiente de las partes participantes.
- f) Un punto que también apertura y limita las oportunidades de un proyecto experimental se da con el equipamiento e infraestructura que el contexto -en este caso, el entorno universitario- dispone, y es por ello que se observan diversos proyectos que varían en términos de oportunidades al manejar elementos, ensambles, fabricaciones más sofisticadas que otros que se asemejan a composiciones formales más simples. Hay que tener presente que cada institución universitaria contará con diferente equipamiento e infraestructura, precisando las oportunidades de diseño y fabricación, dependerá si cuentan con un taller de fabricación digital, centros dedicados al diseño e innovación tecnológica, máquinas para corte laser, Router CNC, herramientas para el tratado de madera, plásticos, metales, entre todo tipo de equipo que apertura las oportunidades de fabricación; por lo que un punto que se debe tener claridad es el equipamiento e infraestructura del que un contexto dispone.
- g) Asimismo, hay que tener presente que la población de estudiantes será distinta en un contexto universitario que otro, por lo que un punto muy influyente es el

posicionamiento económico de parte de los estudiantes junto a las oportunidades financieras que presenta la institución universitaria y contexto en donde se desenvolverán las actividades. Dicho con un ejemplo, los estudiantes de instituciones universitarias privadas como la Universidad de Monterrey (UDEM), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), dispondrán de una situación socioeconómica distinta a estudiantes de instituciones públicas como el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD), Universidad del País Vasco (UPV), Universidad de Granada (UGR), entre otras, a lo que finalmente hay que aclarar que, será ideal tener claridad con el aporte económico que tanto la institución universitaria y cada estudiante podrán contribuir para el desarrollo de las actividades referentes a la fabricación de un proyecto.

- h) También hay que tener en cuenta las consideraciones administrativas y legales que intervendrán al momento de fabricar un proyecto a escala, por lo que se tendrá que tener claridad en los permisos de una institución para intervenir un espacio, aspectos tanto éticos como legales de cada contexto, entre factores adicionales con el fin de evitar posibles conflictos de interés, daños físicos o morales, entre riesgos y efectos negativos que se puedan originar al momento de materializar un proyecto de este tipo.
- i) Finalmente, hay que tener considerado el ciclo de vida para el proyecto experimental. Mientras que gran parte del enfoque se puede generar para el planteamiento, diseño, desarrollo y fabricación de un proyecto efímero, hay que cuestionar también ¿qué sucederá una vez construido, evaluado e inaugurado el proyecto?, ¿cómo se comportará el proyecto a lo largo del periodo de tiempo establecido?, ¿cómo se desmontará, reciclará o desechará una vez caducado el periodo de tiempo?, éstas y más preguntas enfocadas en el tramo final del ciclo de vida de un proyecto son las que se deben tener en consideración antes de organizar una actividad de este tipo, con el fin de manejar procesos tanto económicos como ambientales responsables y eficientes.

Como se pudo reflexionar, estos fueron algunos de los factores y parámetros percibidos en apoyo de lo observado a partir de los casos pragmáticos que intervinieron para el

planteamiento de las actividades que implicaron la materialización y fabricación de proyectos experimentales, con el fin de reforzar el manejo de las técnicas paramétricas dentro del contexto de la UAQ. Sin embargo, existen todavía más factores que intervienen para una actividad tan demandante como la construcción de un proyecto experimental, por lo mismo que se deberá tener un acercamiento crítico y cuidadoso al momento de plantear y llevar a cabo tal actividad, sin perder de vista la necesidad de llevar a cabo una constante retroalimentación que permita la mejora continua en la respectiva planeación y organización de estas dinámicas.

5.4. Prueba preliminar

Con diversos aspectos preliminares atendidos, se procedió también con la ejecución de una prueba preliminar -en otras palabras, un experimento del experimento- dado a través de la materia de *Taller de proyecto ejecutivo 2 (laboratorio)*, lo cual fue con el fin de conocer características y comportamientos adicionales -de modo pragmático- con el fin de reforzar la planeación y organización de la aproximación metodológica definitiva para mitigar posibles riesgos y propiciar una experiencia de aprendizaje más fluida.

En el programa de la materia -y destacando que en éste se revisan en general conceptos del BIM con un enfoque a proyectos ejecutivos- aproximadamente a la mitad del contenido se plantearon 3 sesiones flexibles con dos posibilidades temáticas; la primera de seguir revisando contenido relacionado al BIM y la segunda opción de tocar conceptos y prácticas relacionadas con el diseño paramétrico, como se puede observar en un extracto de la planeación de la materia en la figura 38. Una vez planteada la posibilidad, al momento de su ejecución se realizó la respectiva consulta con los alumnos -aclarando en paralelo a los estudiantes que su breve participación tomaría parte de la presente investigación, con el fin de respetar consideraciones éticas-, quienes finalmente optaron por la segunda opción para revisar conceptos y prácticas relacionadas con el diseño paramétrico, lo cual en paralelo se consideró como un efecto positivo al observar signos de interés y motivación por el tema.

- Proceso de documentación ejecutiva - Etiquetas paramétricas, Libro de Planos y Grupos de Publicación
- (Sesión 7 - Flexible)**
- (Alternativa 1 – Propuesta temática de alumnos)
 - Repaso de funciones y temas específicos seleccionados por los alumnos
 - (Alternativa 2 – Diseño Paramétrico)
 - Conceptos teóricos sobre el diseño paramétrico
 - Conceptos básicos de Rhinoceros y Grasshopper
 - Conceptos básicos de la conexión en vivo con ArchiCAD
- (Sesión 8 - Flexible)**
- (Alternativa 1 – Propuesta temática de alumnos)
 - Repaso de funciones y temas específicos seleccionados por los alumnos
 - (Alternativa 2 – Diseño Paramétrico)
 - Vinculación de elementos ArchiCAD a geometrías en Grasshopper
 - Diseño de estructura paramétrica
- (Sesión 9 - Flexible)**
- (Alternativa 1 – Propuesta temática de alumnos)
 - Repaso de funciones y temas específicos seleccionados por los alumnos
 - (Alternativa 2 – Diseño Paramétrico)
 - Parametric Tower
 - Serpentine Pavilion by BIG

Figura 38: Extracto del programa de la materia de Taller de proyecto ejecutivo 2 (laboratorio) con propuestas temáticas para las sesiones 7, 8 y 9. Fuente: elaboración propia.

De las 18 sesiones en total -con una duración de 3 horas cada una- a lo largo de la materia se abarcaron tres para tocar el tema del diseño paramétrico; en la primera clase, aproximadamente 45 minutos se destinaron para revisar principios teóricos del diseño paramétrico -conceptos que se explicaron anteriormente a lo largo de este documento- junto a la revisión de ejemplos análogos, posteriormente y a lo largo de 1 hora, se revisaron conceptos básicos sobre el manejo de la herramienta Rhinoceros en función de una plantilla de trabajo que incluía comandos básicos como se puede observar en la figura 39, y por último, se destinó el tiempo restante para el aprendizaje de conceptos básicos para la programación de un algoritmo básico mediante el empleo de la herramienta Grasshopper, como se puede observar en la figura 40.

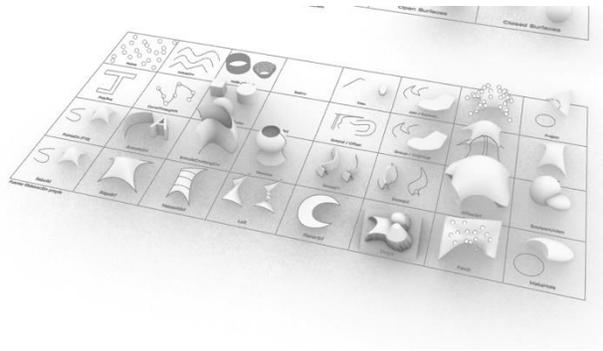


Figura 39: Revisión y ejecución de comandos básicos, primera actividad desarrollada con Rhinoceros. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020)

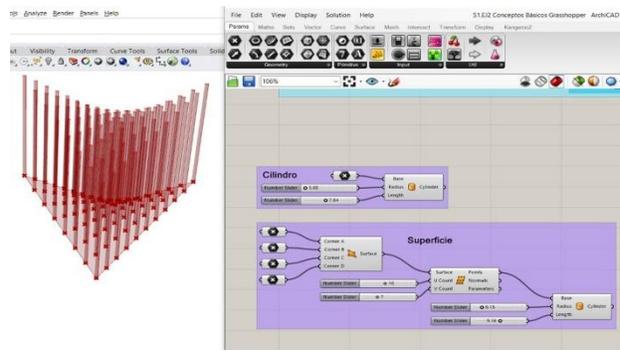


Figura 40: Programación de algoritmo básico, primera actividad desarrollada con Grasshopper. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020)

Como actividad en la primera mitad de la segunda sesión, se realizó un acercamiento al flujo de trabajo en el diseño paramétrico -articulando un ejemplo práctico con el diseño arquitectónico de una fachada- junto al desarrollo programático con el empleo de más comandos en el desarrollo de un algoritmo más complejo al de la primera sesión; y en paralelo se dio el primer acercamiento a la vinculación de la información geométrica de Grasshopper a los elementos BIM, configurando en ArchiCAD previamente una plantilla para la posterior activación del plugin de la conexión en vivo entre todos los programas, permitiendo así sincronizar y generar en tiempo real cada iteración al problema de diseño ajustando sus respectivos parámetros, como se puede observar por medio de un ejemplo en la figura 41.

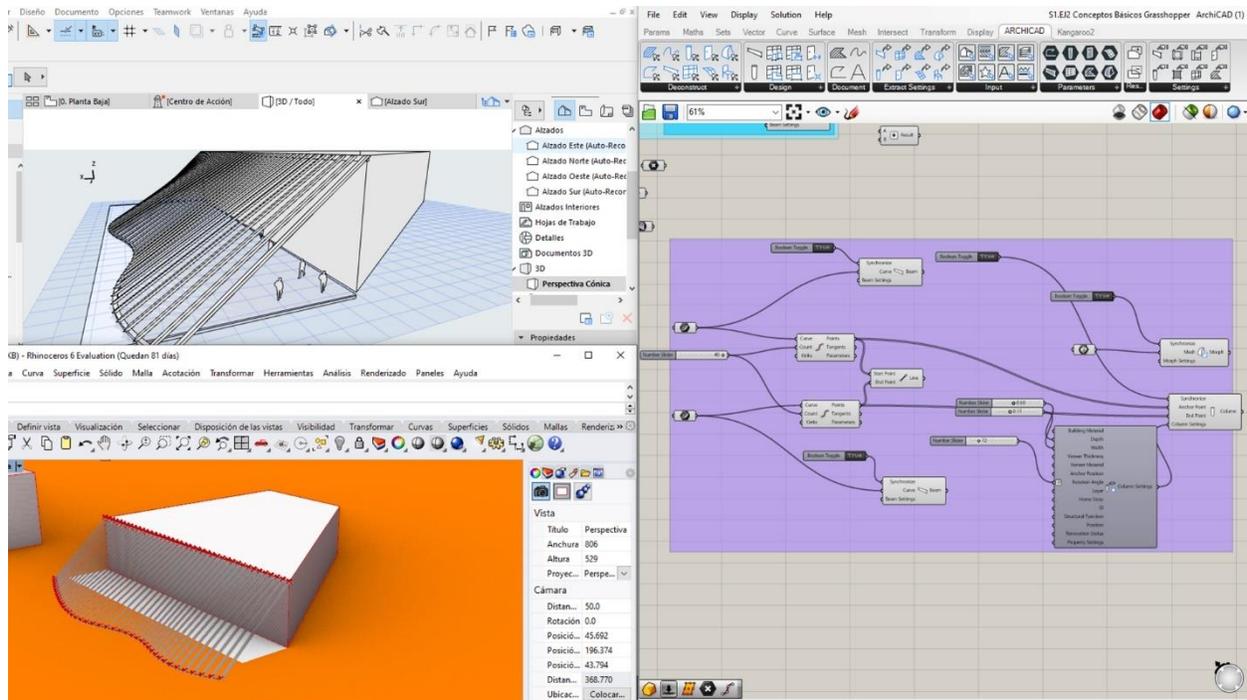


Figura 41: Desarrollo de algoritmo para el diseño de una fachada, sincronizando en vivo la información geométrica generada con Rhinoceros + Grasshopper a los elementos BIM de ArchiCAD. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020)

En la segunda mitad de la sesión se revisó otra plantilla de comandos la cual se puede apreciar en la figura 42, pero en este caso enfocada en la vinculación de los diversos componentes BIM de ArchiCAD a los distintos requisitos geométricos de Grasshopper; estudiando puntos como los modos de sincronizar en vivo los elementos, los requisitos geométricos e inputs necesarios para generar los componentes BIM, cómo trabajar una retroalimentación bidireccional con la deconstrucción de elementos sembrados desde ArchiCAD, algunos procesos bidimensionales, entre otros conceptos clave a ser empleados para el desarrollo de proyectos generativos en apoyo del BIM.

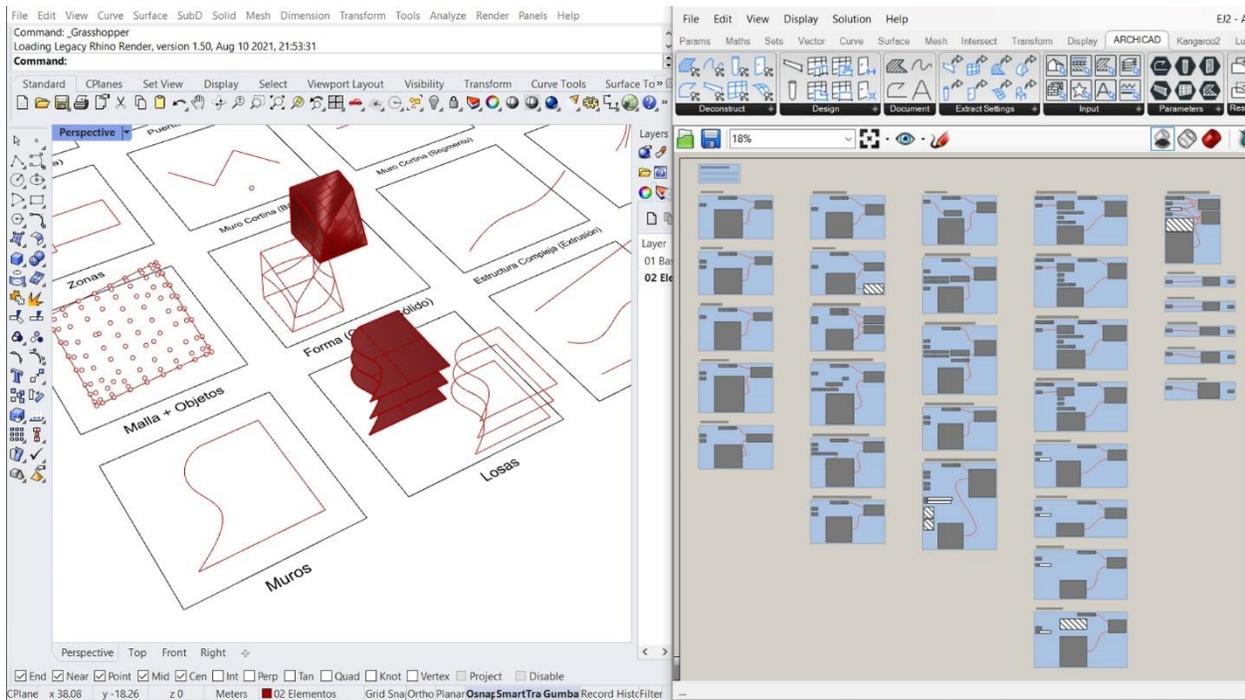


Figura 42: Actividad consistente en el trabajo de una plantilla para la vinculación de los diversos componentes BIM de ArchiCAD, bajo el flujo de información bidireccional. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020)

Es importante aclarar que esta materia de octavo semestre al ser un laboratorio del plan curricular ARQ-12, funciona como un complemento para otro taller enfocado en el diseño de un proyecto ejecutivo del sector salud -en aquella ocasión el diseño de todo un hospital-; por ello, se considera la oportunidad para integrar lo aprendido en paralelo con el proyecto que cada alumno desarrolla en su otra materia.

Dicho lo anterior, en la misma sesión se plantea adicionalmente la tarea que consiste en establecer las definiciones preliminares para el diseño de algún elemento paramétrico - como lo puede ser un plafón, celosía, muro, piso, fachada, entre otras partes del proyecto arquitectónico-, con el fin de haber complementado el hospital con algún aspecto morfofuncional y estético que cada alumno desarrolló a lo largo del semestre.

Estas definiciones iniciaron con la relación de ejemplos análogos -a elección libre del alumno- a la idea general que tiene para la implementación de su elemento paramétrico, continuó con la descripción de un problema de diseño particular en función del proyecto,

la definición de un objetivo de diseño, la constitución de parámetros a modo tanto escrito como gráfico, junto a la definición conceptual del proceso para llegar al resultado esperado, en pocas palabras, se debe tener explícitamente claro el panorama del proceso paramétrico antes de proceder con la programación por medio de las herramientas computacionales, como se puede visualizar en el ejemplo gráfico en la figura 43. Una vez generados los procesos preliminares analógicos, los alumnos -y con lo aprendido en las otras actividades a lo largo de las sesiones- procedieron al desarrollo de los algoritmos que generan las diversas iteraciones de su elemento paramétrico a ser íntegro en su proyecto; es importante aclarar que esta actividad a diferencia de las otras, fue constante ya que hubo un seguimiento y retroalimentación continua con revisiones y mejoras hasta concluir el elemento paramétrico para el proyecto.

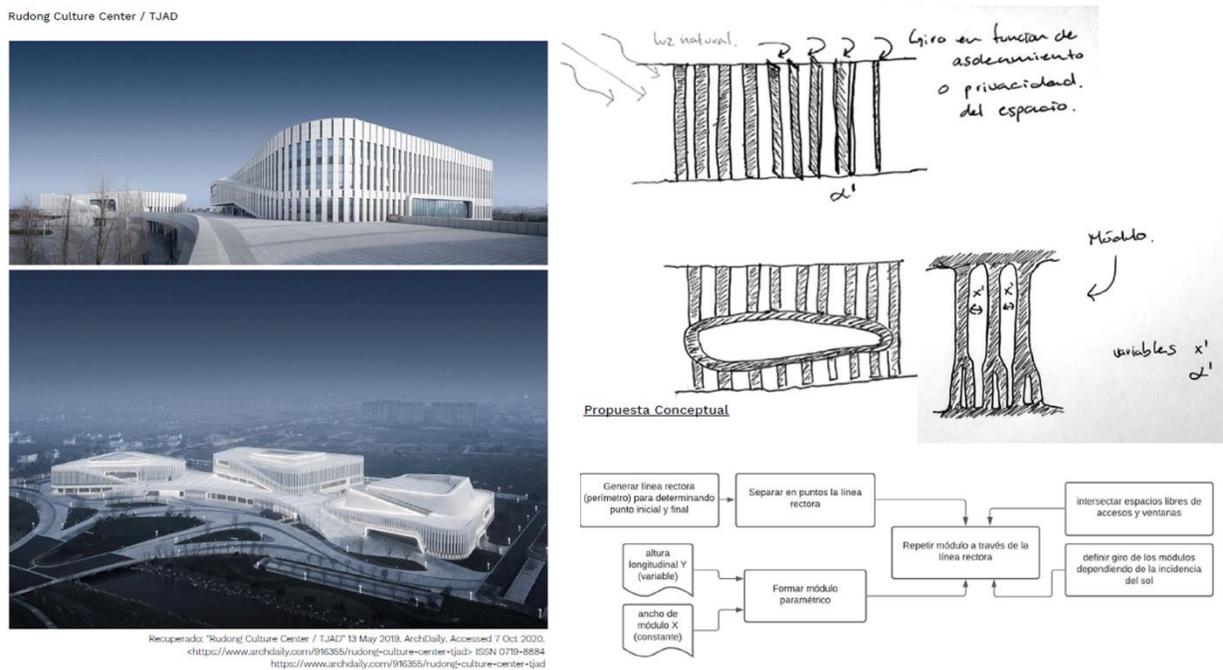


Figura 43: Ejemplo de planteamientos y definiciones preliminares del proceso paramétrico previo a su respectiva programación para el desarrollo de una fachada envolvente. Fuente: Proyecto por Jaguey Velázquez Pedro Uriel (2020)

Dicho lo anterior, se procede a la tercera y última sesión en la que se trabajó un algoritmo a mayor grado de complejidad que busca replicar el comportamiento geométrico del proyecto *Serpentine Pavilion 2016* diseñado por *Bjarke Ingels Group (BIG)* como se

puede observar en el ejemplo de la figura 44, además de generar la programación base con Grasshopper los alumnos procedieron también a vincular y posicionar los elementos BIM para generar la geometría final, ya que uno de los objetivos de la actividad fue lograr el comportamiento formalmente adecuado -agregando que la geometría BIM debe estar correctamente configurada en todos sus parámetros y no únicamente en lo volumétrico-, obteniendo así el resultado final en ArchiCAD.

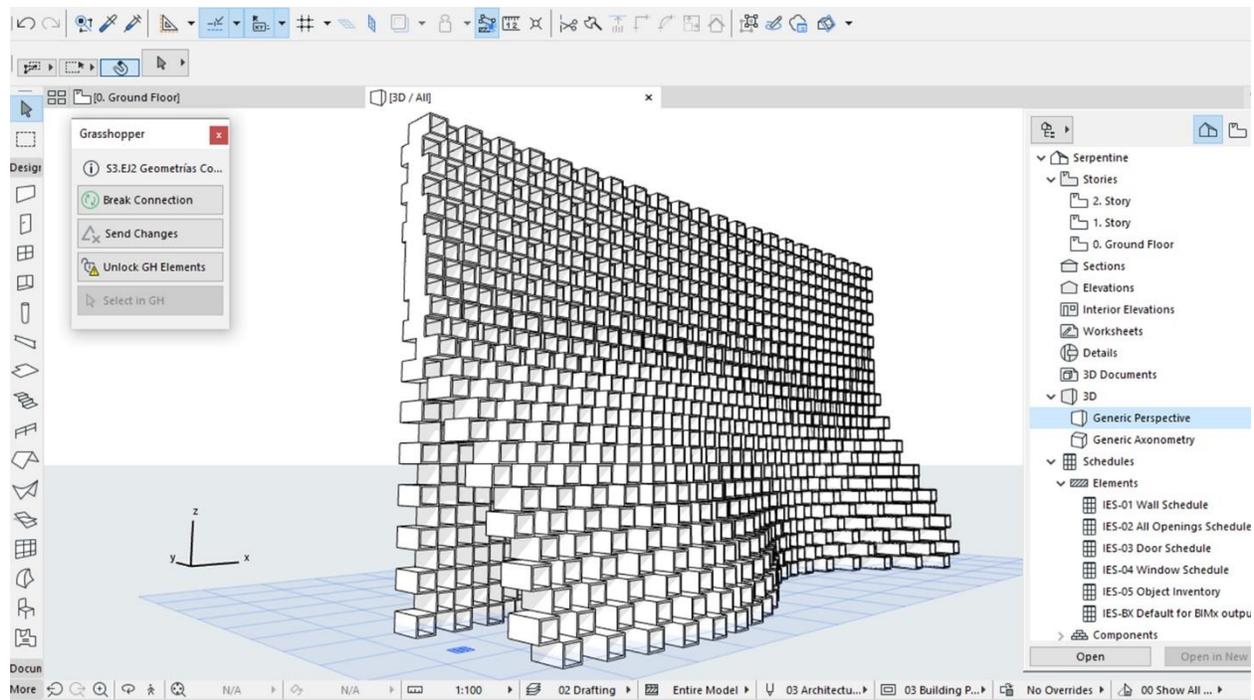


Figura 44: Actividad final que consiste en replicar el comportamiento geométrico del Serpentine Pavilion 2016 por BIG, con el manejo de Rhinoceros, Grasshopper y la conexión en vivo con ArchiCAD. Fuente: Taller de proyecto ejecutivo 2 (lab) (2020)

En la última actividad, se dio el cierre del ciclo sobre diseño paramétrico y se continuó con la revisión de conceptos BIM a lo largo de la materia regresando así a la temática original del taller. El haber realizado esta prueba preliminar -experimento del experimento- permitió desarrollar una práctica pragmática previa para medir algunos tiempos, descubrir parámetros preliminares en el acercamiento de un tema, además de que hay que resaltar que se descubrieron varios parámetros al momento de haber realizado la retroalimentación posterior, cuyo planteamiento y ejecución se describe a continuación.

5.5. Evaluación prueba preliminar

Además de llevar a cabo la prueba preliminar por medio de la ejecución de tres sesiones sobre diseño paramétrico, al finalizar, se generó una encuesta de retroalimentación a los alumnos en la que se obtuvieron 21 respuestas respectivamente que se detallan en el apartado de los resultados, evaluando características y puntos clave que permitieron obtener información para una mejor toma de decisiones posteriormente en la planeación de la aproximación metodológica definitiva. Esta encuesta de retroalimentación se aplicó a los alumnos de 8° semestre y evaluó 4 categorías clave -es importante aclarar que casi todas las preguntas contaban ya con respuestas predefinidas y planteadas también bajo la escala Likert o del 1 al 5-, para permitir a los encuestados responder lo más fluido y honesto posible además de posibilitar la cuantificación de algunas características.

En el primer bloque, se obtuvieron datos generales -manejando anonimato al evitar nombres- del participante, con preguntas que además exploraron los intereses temáticos personales, la experiencia previa con herramientas digitales así como la adopción y el aprendizaje de éstas, la perspectiva sobre el potencial e impacto de los instrumentos computacionales en el entorno personal, educacional y laboral, dejando también al final una pregunta libre para que los alumnos compartieran algo más de modo opcional y libre.

En la segunda categoría, se evaluó la experiencia de aprendizaje a lo largo de las tres sesiones, con preguntas que evaluaron el interés, dificultad, aplicabilidad del diseño paramétrico, junto a la revisión de aspectos técnicos sobre la dificultad en la obtención e instalación de las herramientas de trabajo, finalizando el apartado con una pregunta sobre el interés por seguir aprendiendo el tema, junto a la inclusión de una interrogación abierta en caso de que alguien más deseó agregar algún comentario.

El tercer apartado, trató sobre el desempeño del docente para explicar el tema y guiar a los alumnos a lo largo de las actividades, con preguntas que evaluaron la claridad y el dominio del tema, la calidad de los ejemplos análogos empleados, la conexión del tema con la realidad, la asesoría y resolución de dudas, la motivación por aprendizaje, así como una pregunta que evaluó la experiencia de aprendizaje bajo el entorno virtual -

recordando que presente investigación se condicionó por la contingencia sanitaria-, finalizando del mismo modo con una pregunta abierta.

El cuarto y último apartado, evaluó la perspectiva de los alumnos sobre la implementación del diseño paramétrico en la UAQ, con preguntas que exploraron el potencial de enriquecer la licenciatura en arquitectura, el contexto profesional de Querétaro, la posibilidad para implementar el tema en la universidad, finalizando también con una pregunta abierta en caso de alguna otra sugerencia.

5.6. Planeación y organización del diplomado

En función de los aspectos preliminares que se exploraron y lo observado a partir de la prueba preliminar -recordando que los resultados de la prueba preliminar se detallan posteriormente-, se procede con el desarrollo de los acontecimientos necesarios para la planeación, organización, dirección y control del proyecto.

Es importante aclarar que la aproximación metodológica junto al material desarrollado, nace en primera instancia con la expectativa de ser implementado por medio de un breve curso o actividad experimental de aproximadamente 20 horas para la licenciatura en arquitectura, posteriormente, se contempla la posibilidad de adaptar la actividad al espacio presente de una materia optativa -asignatura con temática libre dentro del plan curricular- con duración de 54 horas, para finalizar con la evolución a un diplomado de 100 horas. Esta evolución se dio gracias a que la coordinación de la licenciatura en arquitectura presentó la visión junto a los avances del momento con los que se contaban, al departamento de *Educación Continua* de la Facultad de Ingeniería -cuerpo responsable de organizar y propiciar el aprendizaje por medio de la organización de diplomados y cursos independientemente de los planes curriculares de una carrera-. De esta forma, se dio la oportunidad de manejar la aproximación metodológica por medio de un proyecto todavía más ambicioso a lo inicialmente esperado, lo cual en paralelo presentó un beneficio adicional para los alumnos de la carrera en la UAQ, ya que el completar con capacitación posibilitaba un medio de titulación adicional.

Una vez teniendo claro el proyecto en el cual la aproximación metodológica cobraría vida, se desarrolló inicialmente una reunión por medio de videollamada con los agentes de la coordinación de la licenciatura en arquitectura, educación continua y el director e investigador de la presente investigación con el fin de comentar todas las bases necesarias para la estructuración necesaria para la planeación y presentación de la propuesta del diplomado, oficialmente ante la comunidad universitaria y pública.

En concreto, se comentaron lineamientos para la planeación y ejecución del proyecto junto a consideraciones para que éste posibilite la paralela retroalimentación de la presente investigación de forma responsable; además, se trataron propuestas de los módulos tentativos y sus tiempos, los ponentes tentativos para la ejecución de éstos, requisitos administrativos para la presentación de la propuesta, puntos y provisiones necesarias para la ejecución del diplomado bajo las limitantes de la contingencia sanitaria -concluyendo que el diplomado se ejecutaría bajo una modalidad semipresencial-, y por último, también se trató el título adecuado para transmitir la correcta esencia temática junto a las expectativas del diplomado, derivando que se denominaría como *Diplomado en diseño y composición paramétrica*, bajo la idea de que la palabra *diseño* representa la resolución de problemas y la palabra *composición* asocia la naturaleza de la búsqueda formal -punto presente en varias de las actividades tentativas del campo temático-, finalizando con la inclusión de la palabra *paramétrica* para asociar también la técnica empleada. Teniendo claro los primeros lineamientos para el diplomado, se generó un póster como se puede observar en la figura 45, y finalmente se lanza la convocatoria a la comunidad universitaria como todo público interesado.



Figura 45: Póster difundido del diplomado en diseño y composición paramétrica. Fuente: Educación Continua Facultad de Ingeniería UAQ (2021)

Generada la reunión preliminar, posteriormente se procedió a estructurar los módulos, tiempos, fechas, horas exactas para las sesiones, junto a la modalidad de ejecución para cada clase; la dinámica se resumió en un cronograma general que se puede observar en la figura 46. En concreto, se definieron 5 módulos, el primero bajo el nombre de *Introducción y conceptos teóricos* con una duración de 10 horas planteado bajo modalidad virtual, el segundo llamado *Rhinoceros + Grasshopper* con duración de 30 horas también bajo modalidad virtual, el tercero como *BIM Integrado* con duración de 20 horas en modalidad virtual, el cuarto con el nombre de *Fabricación Digital* con duración de 20 horas en modalidad semipresencial, quinto y último como *Proyecto Integrador* con duración de 20 horas en modalidad semipresencial, sumando así 100 horas en total que componen el diplomado.

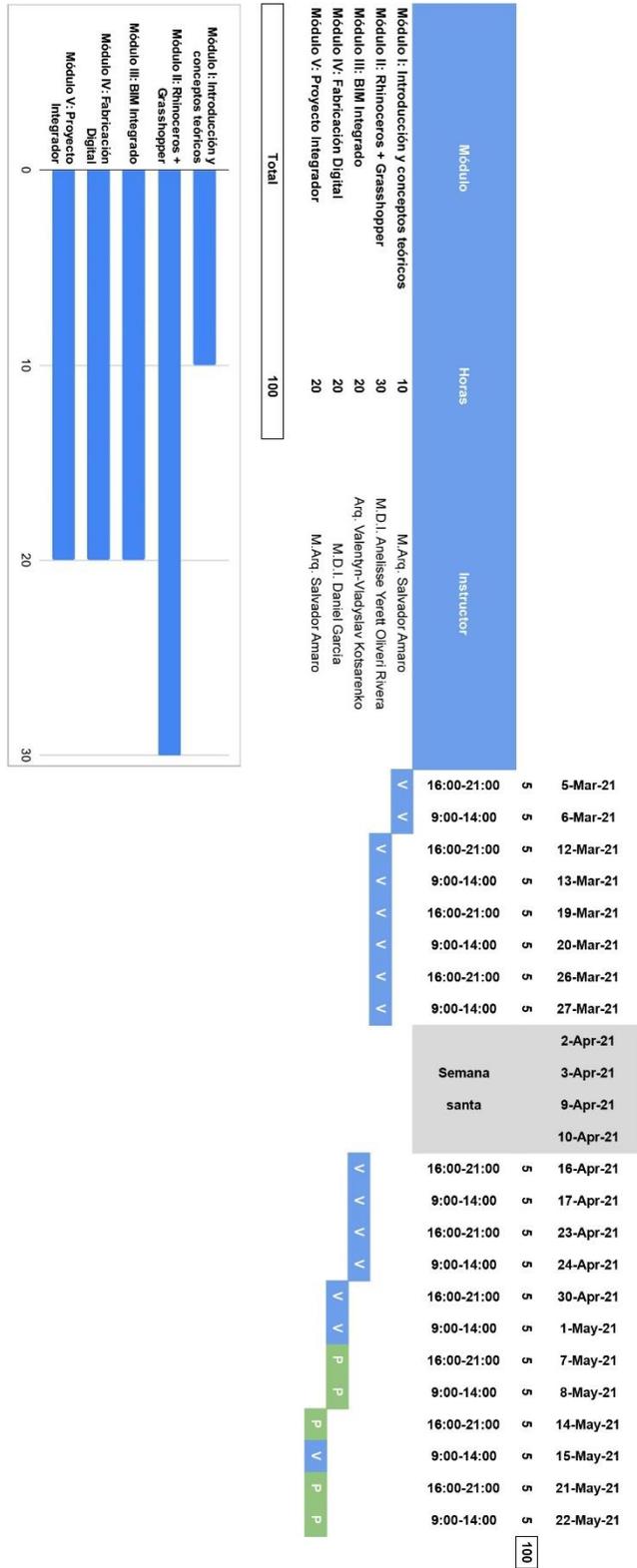


Figura 46: Cronograma general del diplomado. Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente se realizó otra junta por videollamada, en esta ocasión con los ponentes que llevarían a cabo el desarrollo de cada módulo, los agentes de educación continua, y el director e investigador de la presente investigación con el fin de comentar los contenidos temáticos y las estrategias implícitas para la ejecución del diplomado.

Es importante destacar que, además de tocar los puntos clave necesarios para cumplir exitosamente la línea de aprendizaje temática del diplomado, el asunto más importante de todos destacó con la pregunta de: *¿Cómo lograr, en conjunto con los alumnos del diplomado, materializar exitosamente el prototipo paramétrico final a escala real dentro del contexto de la UAQ?*, debido a que uno de los objetivos del diplomado era la elección del mejor prototipo experimental diseñado por medio de las técnicas paramétricas por los alumnos, con el fin de construir éste a escala real a lo largo del módulo 5; siendo esta actividad la más demandante de todas en términos de recursos humanos, materiales y de tiempo a lo largo del curso.

Con el fin de cumplir esta meta, además de manejar una línea de contenido temático se planteó también otra para el proyecto como se puede observar en la figura 47, conformada por acontecimientos para dar el constante seguimiento, evolución, revisión, retroalimentación junto a todo lo necesario para la materialización del proyecto con los alumnos, dando inicio desde el primer día y abarcando todo el periodo que conlleva el diplomado. Una observación que resaltó de parte del docente con la experiencia para la fabricación de prototipos paramétricos, fue que si se deja la carga de la planeación, adaptación ejecutiva y fabricación de los proyectos únicamente hasta el módulo 5, sería demasiado complicado cumplir con la meta en el lapso de tiempo planteado -cercano a las dos semanas-, por lo que se concluyó que las adaptaciones y consideraciones ejecutivas del proyecto deben ser articuladas desde el primer día del curso con las definiciones preliminares hasta la evolución final de cada propuesta de prototipo.

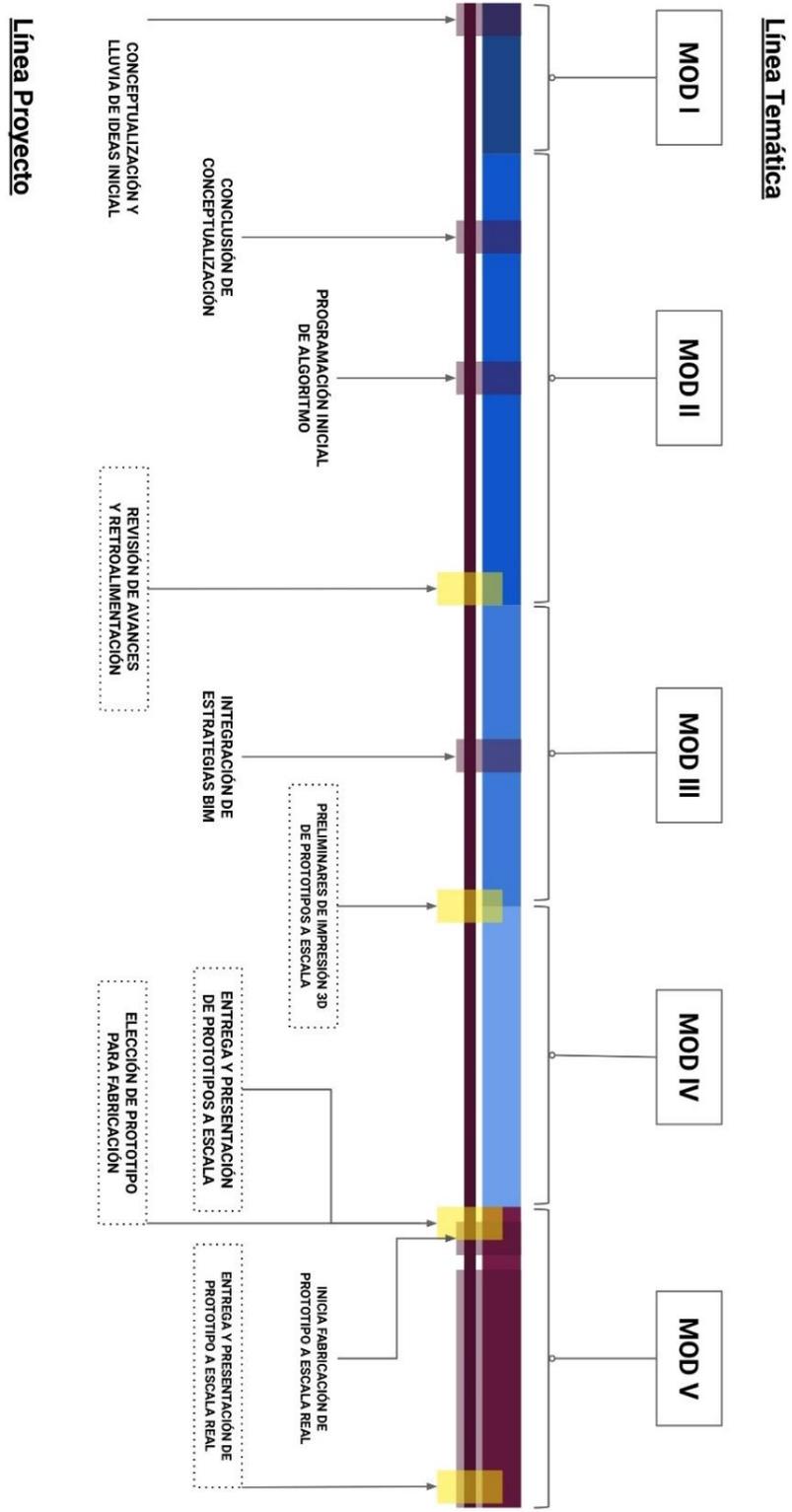


Figura 47: Dinámica general del diplomado, íntegra de los hitos más importantes para el correcto seguimiento del proyecto hasta su materialización final. Fuente: elaboración propia.

Además del diálogo en torno al objetivo principal, otros puntos que se tocaron fueron en relación a la dinámica en general del diplomado, los posibles contenidos teóricos y prácticos tentativos para cada módulo, los recursos humanos, técnicos, materiales entre los diversos requisitos para la ejecución de las labores correspondientes en la fabricación digital de cada prototipo tentativo a escala por medio de la impresión 3D, cuestiones adicionales para la respectiva materialización del prototipo definitivo a escala, consideraciones ante la contingencia sanitaria, consideraciones administrativas, consideraciones sobre los entregables, porcentajes para la evaluación de cada alumno - ya que al ser un medio de titulación el diplomado, *Educación Continua* requiere de disponer de una calificación final por cada estudiante-, entre diversos otros aspectos que sumaron a la planeación y organización general.

Entrando con mayor detalle a la planeación de los contenidos temáticos de cada módulo, hay que aclarar en términos generales que éstos se plantean en general de modo flexible, considerando y respetando que cada ponente tiene su propia experiencia, visión, perspectiva, actividades, dinámicas, estrategias pedagógicas entre diversos criterios con relación a la respectiva formación de los alumnos en el campo temático específico.

Mientras que algunas dinámicas de inicio y cierre de cada módulo se apegan de modo rígido a los acontecimientos establecidos en general a lo largo del diplomado, con el fin de permitir y propiciar el seguimiento continuo en el diseño y desarrollo de los proyectos de parte de los alumnos, cada módulo acomoda en gran medida a un *espacio libre* que permite al docente del bloque plantear el contenido temático bajo sus propias dinámicas, actividades y todo lo necesario para la fluida ejecución del bloque, siempre y cuando se cumpla el objetivo específico de cada bloque.

A continuación, se explican los objetivos, dinámicas, expectativas e hitos generales planteados para cada módulo y se incluye su respectivo gráfico ilustrando la dinámica.

5.6.1. Módulo 1: Introducción y conceptos teóricos (10 horas)

I INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS TEÓRICOS

Objetivo

Generar pautas de diseño preliminares para permitir al alumno tener una visión más clara de qué tipo de problema del contexto atacar permitiendo la respectiva retroalimentación y evolución transversal del proyecto en los próximos módulos.

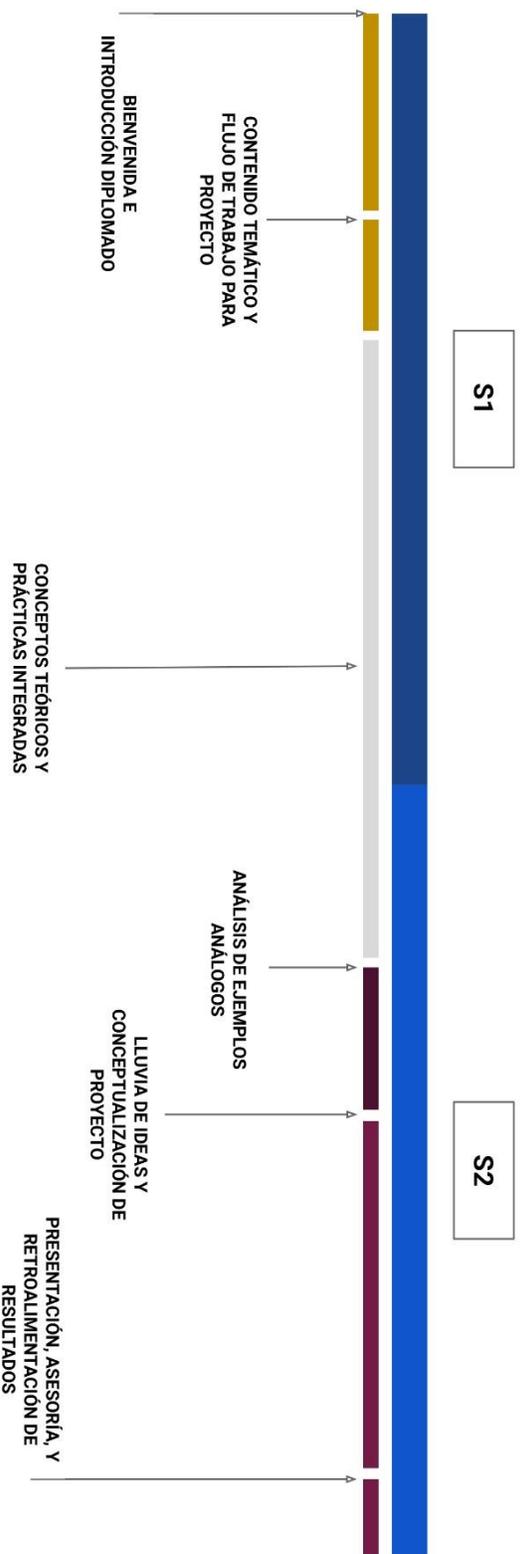


Figura 48: Dinámica propuesta para el módulo 1. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 48, el primer módulo se planteó para ser llevado a cabo bajo una modalidad virtual a lo largo de 10 horas distribuidas en 2 sesiones; se consideró al inicio tiempo suficiente destinado para permitir la fluida inauguración del diplomado junto a la participación de los administrativos, ponentes, alumnos y todos los agentes que conformarían el evento, para dar a conocer las expectativas que se tenían, el objetivo principal, explicar por medio de una presentación la dinámica general del curso, modos de evaluación, entregables entre otros aspectos relevantes; finalizando también con la aclaración de que toda participación de parte de los alumnos retroalimentaría una investigación, apegándose a las consideraciones y políticas éticas aplicables al proyecto de investigación.

Posterior a dicho acontecimiento, se planteó tiempo suficiente para que el ponente del módulo presentara los conceptos teóricos relevantes, seguido de la revisión y el análisis de ejemplos análogos relativos al tema, para proceder con la primera actividad con los alumnos que consistiría en generar los planteamientos iniciales necesarios para el desarrollo del proyecto a lo largo del diplomado. Algunos de estos planteamientos partirían de la definición de un problema dentro del contexto de la UAQ, seguido de una investigación preliminar por los alumnos sobre ejemplos análogos relacionados que permitan inspirar la posterior generación de una lluvia de ideas para atacar el problema, finalizando con la elección y el planteamiento de la mejor idea que permita después su respectiva evolución con las técnicas que se aprenderían a lo largo de los siguientes módulos. Por último, se consideró tiempo suficiente para que los alumnos presentaran los planteamientos que se tendrían del proyecto, y los docentes retroalimentaran las ideas con observaciones, críticas constructivas, perspectivas, entre todas las consideraciones necesarias que permitirían la correcta evolución de la idea a lo largo del curso.

5.6.2. Módulo 2: Rhinoceros + Grasshopper (30 horas)

II RHINOCEROS + GRASSHOPPER

Objetivo

Desarrollar competencias de diseño y composición paramétrica base así como de procesos y programación de algoritmos visuales permitiendo una retroalimentación transversal para la correcta evolución del proyecto de diseño.

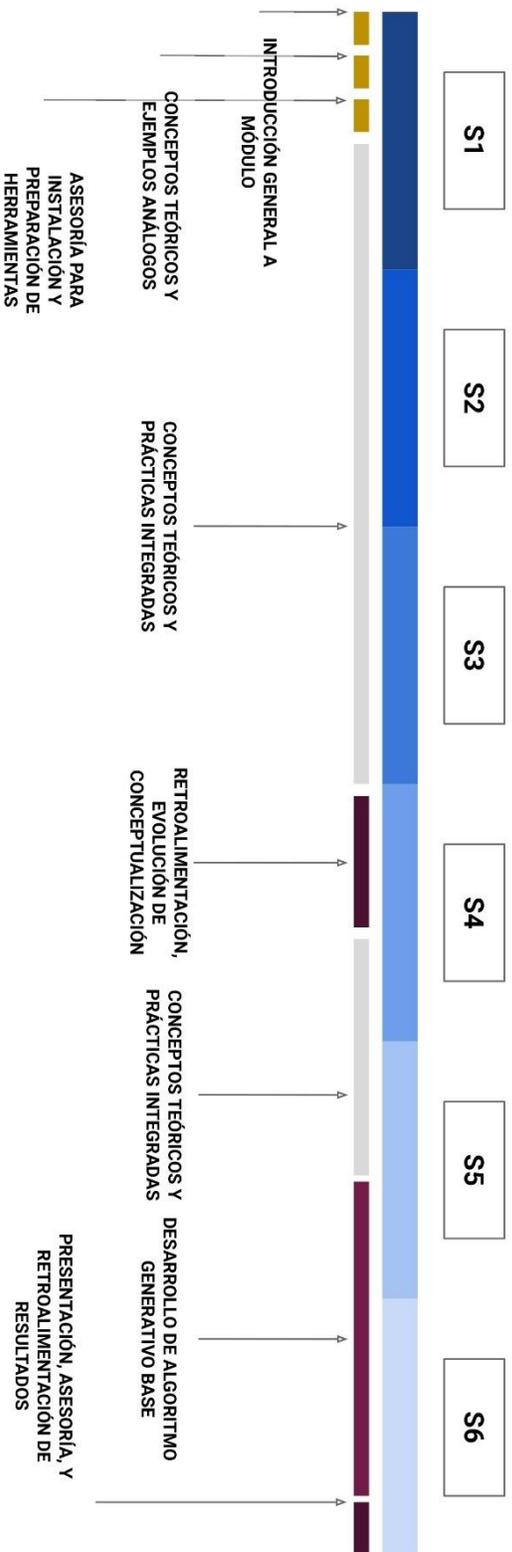


Figura 49: Dinámica propuesta para el módulo 2. Fuente: elaboración propia.

En la figura 49 se puede observar que este módulo representa una parte crítica en la formación de los alumnos para lograr cumplir con el objetivo principal del diplomado, motivo por el cual se destina una mayor cantidad de horas para su respectiva ejecución.

El bloque se planteó para dar la formación desde ceros en el manejo de las herramientas paramétricas Rhinoceros y Grasshopper -instrumentos explicados previamente a lo largo de este documento-, cuyo aprendizaje se planteó dando inicio con la revisión de conceptos teóricos y ejemplos análogos, seguido de la asesoría necesaria para la correcta obtención de licencias e instalación de las herramientas de trabajo, continuando con el trabajo de prácticas y actividades integradoras que el respectivo ponente del módulo manejó, un punto intermedio que se estableció para permitir a los alumnos haber iniciado la programación y parametrización de la idea inicial de su proyecto por medio de un algoritmo, seguido de actividades y prácticas integradoras, tiempo adicional para el trabajo del proyecto, y finalmente un espacio que se designó -al igual como lo fue al final del módulo 1- para la presentación de los avances y algoritmos de parte de los alumnos para la respectiva retroalimentación con observaciones, críticas constructivas, y consideraciones de parte de los docentes.

5.6.3. Módulo 3: BIM Integrado (20 horas)

Observado en la figura 50, este bloque tiene la intención de integrar la metodología de trabajo BIM al algoritmo que se ha estado trabajando a lo largo del módulo anterior. Hay que aclarar que al ser un tema demandante entre algunos aspectos técnicos y en términos de conocimiento previo, uno de los requisitos del diplomado se definió por medio del manejo preliminar de la herramienta ArchiCAD, agregando también que la decisión de trabajar con este instrumento en vez de Revit -al ser la solución de parte de Autodesk una alternativa BIM viable e inclusive más demandado en el entorno laboral-, se debe a la contemplación de que la mayoría de los participantes del diplomado serían alumnos formados bajo el plan curricular ARQ-12, en cuyo transcurso la materia de cuarto semestre con el nombre de *Herramientas Digitales II* facilitó el previo aprendizaje y práctica de ArchiCAD.

III

BIM INTEGRADO

Objetivo

Desarrollar competencias de diseño y composición paramétrica adicionales con la integración de puntos clave de la metodología de trabajo BIM permitiendo una retroalimentación transversal para la correcta evolución del proyecto de diseño.

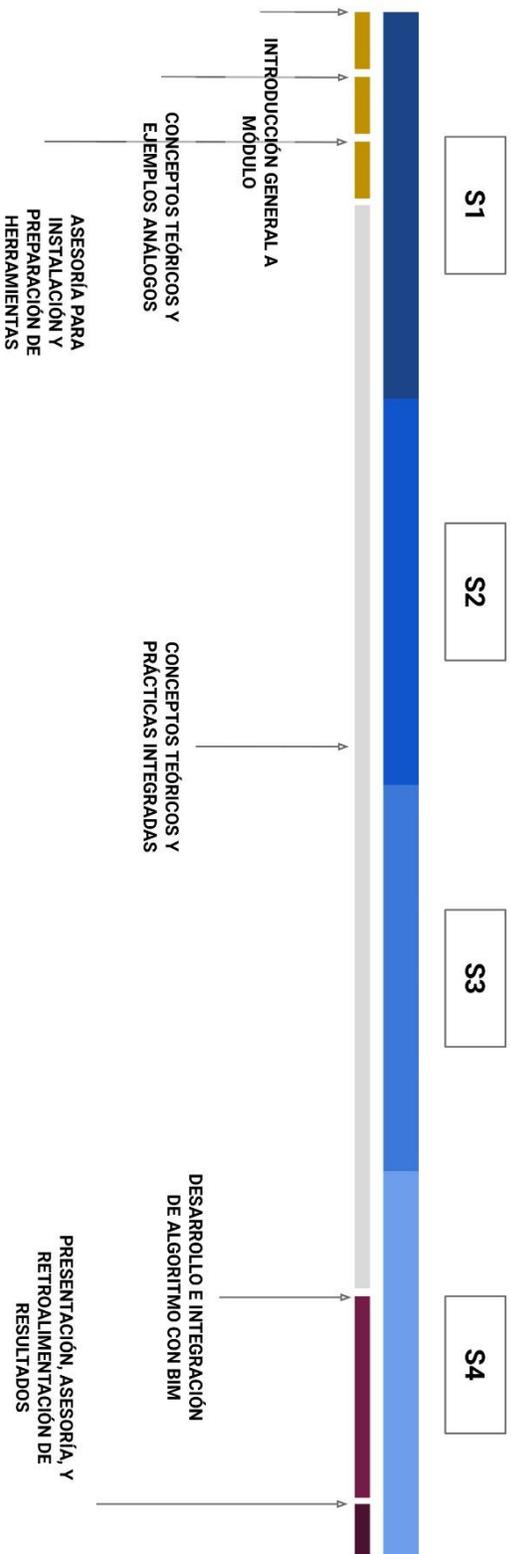


Figura 50: Dinámica propuesta para el módulo 3. Fuente: elaboración propia.

Debido a que los alumnos disponen de este antecedente intelectual, se consideró la decisión de dar seguimiento y evolución a las habilidades existentes para agilizar la formación de experiencias avanzadas.

Asimismo como lo fue en el módulo 2, se planteó dar inicio con la revisión de conceptos teóricos y los ejemplos análogos pertinentes, para proceder con la asesoría necesaria para la funcionalidad de los instrumentos computacionales, continuar posteriormente con el desarrollo de prácticas y actividades necesarias, destinando un tiempo para que los alumnos evolucionen y le den seguimiento al algoritmo con la implementación de las nuevas técnicas aprendidas, para finalizar -del mismo modo como se dio en los bloques anteriores- con la presentación de avances y su respectiva retroalimentación.

5.6.4. Módulo 4: Fabricación Digital (20 horas)

Para este siguiente módulo se espera que los alumnos hayan avanzado lo suficiente con el desarrollo del algoritmo a lo largo del diplomado para permitir la generación de una entidad tridimensional de una de las posibles iteraciones del proyecto, con el objetivo de posteriormente materializar -a escala reducida- el prototipo por medio de la técnica de impresión 3D. Cabe aclarar que, presente bloque no sólo se centra en la impresión 3D sino que se planteó con uno de los objetivos de abrir la perspectiva a las posibilidades de los alumnos al mundo de la fabricación asistida por computadora (CAM) con el manejo de las técnicas sustractivas y aditivas -punto que se aclaró previamente en este documento-, abrir la visión a las oportunidades que brindan los espacios Makers y Fab Labs, entre conceptos adicionales que permitan claridad para visualizar las oportunidades que ofrece la fabricación digital. La técnica que se pretendió emplear principalmente de modo práctico fue la impresión 3D, ya que esta solución presentó la mejor viabilidad tanto en aspectos de tiempo como economía para cumplir uno de los objetivos del siguiente módulo con la presentación de los prototipos en físico -impresiones de maquetas en 3D-, para la elección del proyecto más viable para su respectiva construcción a escala real.

IV

FABRICACIÓN DIGITAL

Objetivo

Desarrollar competencias de diseño y composición paramétrica adicionales con la integración de puntos clave de la fabricación digital permitiendo una retroalimentación transversal para la correcta evolución del proyecto de diseño.

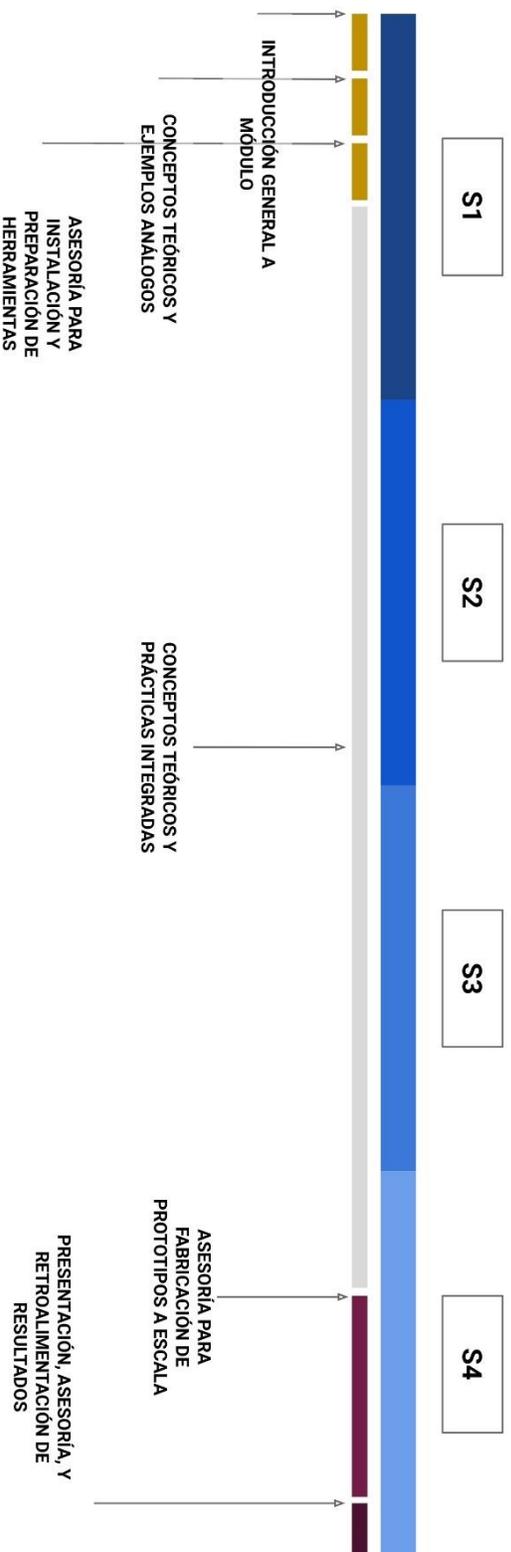


Figura 51: Dinámica propuesta para el módulo 4. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 51, al inicio del bloque se destinó tiempo -de modo similar como lo fue en módulos anteriores- para que el docente generara una introducción y explicara los conceptos teóricos pertinentes, brindara el apoyo necesario en relación a los aspectos técnicos y las herramientas de trabajo necesarias. Posteriormente, se dejó tiempo necesario para el desarrollo de las prácticas, actividades junto a la asesoría requerida para la correcta preparación e impresión de los modelos tridimensionales; finalmente -al igual como en módulos pasados- se designó un espacio para la presentación y retroalimentación de los resultados particulares.

5.6.5. Módulo 5: Proyecto Integrador (20 horas)

Este módulo es de mayor importancia y más complejo que los demás, ya que representa la culminación de todo el progreso de los bloques anteriores con la integración de lo aprendido y logrado al momento para la construcción de un prototipo a escala real. Cabe resaltar que -y dicho desde una perspectiva pragmática- existen experiencias tanto negativas como positivas en la fabricación de prototipos a escala real en el contexto de la UAQ, motivo por el cual se consideró que este módulo también presentaba el mayor riesgo de todos, debido a la demanda tanto de recurso humano como material para el desarrollo de las actividades en un determinado tiempo. Otro riesgo se presentaría con la naturaleza de las propuestas planteadas de parte de los alumnos, motivo por el cual se requirió precaución desde un inicio en no limitar ni abrir demasiado las restricciones del proyecto, con el fin de evitar obtener propuestas de prototipos volumétricamente simplificados que no presentaran suficiente reto, y por otro lado, propuestas demasiado ambiciosas que complicarían los procesos de fabricación debido a limitaciones económicas, técnicas, administrativas entre otras. Mientras que la ambición y la visión de parte de los alumnos puede tener intenciones positivas, hay que subrayar que es importante mantener las expectativas razonablemente equilibradas para los proyectos, evitar que las ideas -dicho en términos coloquiales- *estén por las nubes* sino mantenerlas firmes sobre la tierra, esto dado en función del contexto universitario, ya que

el presupuesto, herramientas, espacios de trabajo, entre otros factores puede que faciliten o no la construcción del proyecto.

En relación a la dinámica general propuesta para el módulo 5 la cual se observa en la figura 52, se esperaría que los alumnos contaran para entonces con el avance suficiente de sus proyectos con el fin de reservar un tiempo para la exposición en apoyo de láminas e impresiones 3D de sus propuestas preliminares, esto para posteriormente permitir una retroalimentación general sobre los prototipos de parte tanto de alumnos como docentes. Posteriormente, se reservó un espacio para permitir la votación y elección del prototipo más adecuado, con las mejores cualidades y viabilidad para ser fabricado a escala real dentro de un lapso de tiempo de aproximadamente 2 semanas. Seguido, se agendó un periodo para la organización de los participantes con la finalidad de tener claridad en los roles, actividades y más características implícitas para arrancar con la materialización del prototipo elegido, se consideró un periodo para permitir llevar a cabo todas las actividades relacionadas a la fabricación del producto y finalmente se planteó la organización de un evento de culminación formal extendiendo una invitación a todo público interesado en conocer los resultados logrados. Este evento se consideró para dar inicio nuevamente con la presentación del material referente a los prototipos preliminares, para que finalizada la exhibición de las propuestas se procediera con la presentación de los prototipos fabricados a escala real, dando así la conclusión y cierre definitivo del diplomado.

V

PROYECTO INTEGRADOR

Objetivo

Culminar e integrar las distintas competencias de diseño y composición paramétrica por medio de la evolución y materialización del proyecto de diseño generado por las fuerzas del contexto determinado.

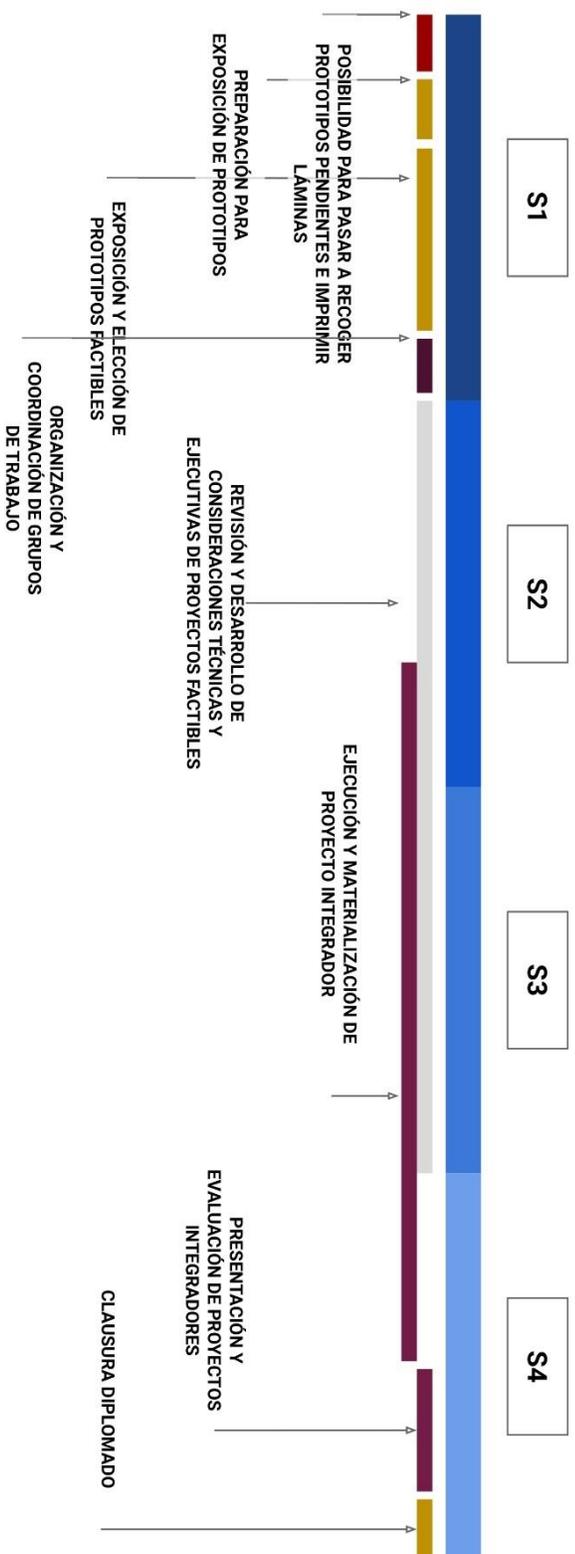


Figura 52: Dinámica propuesta para el módulo 5. Fuente: elaboración propia.

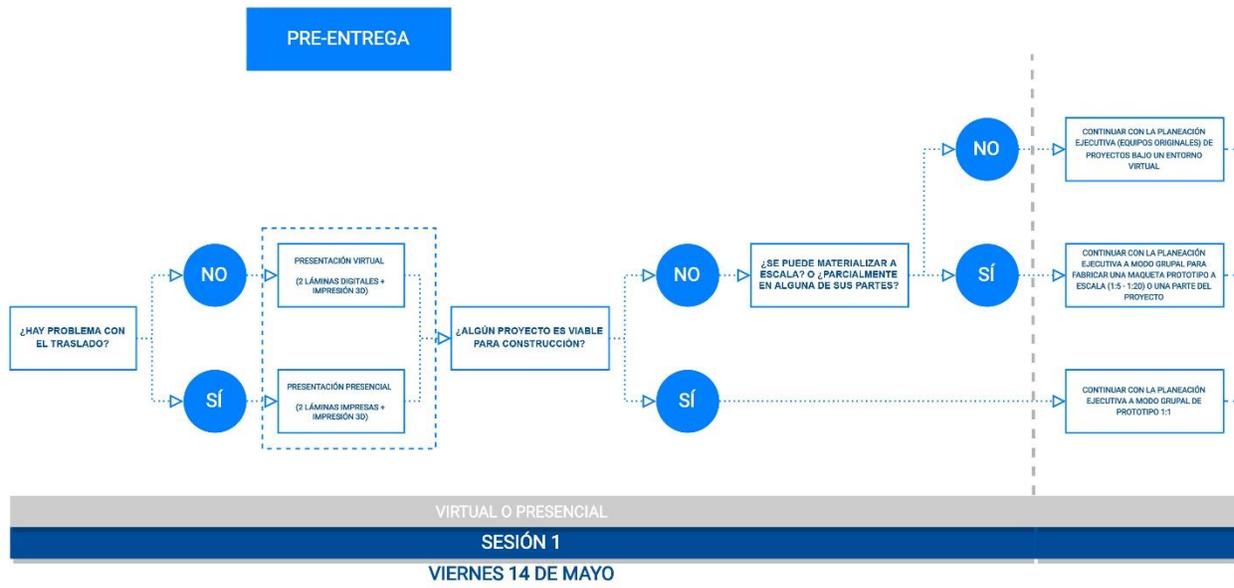
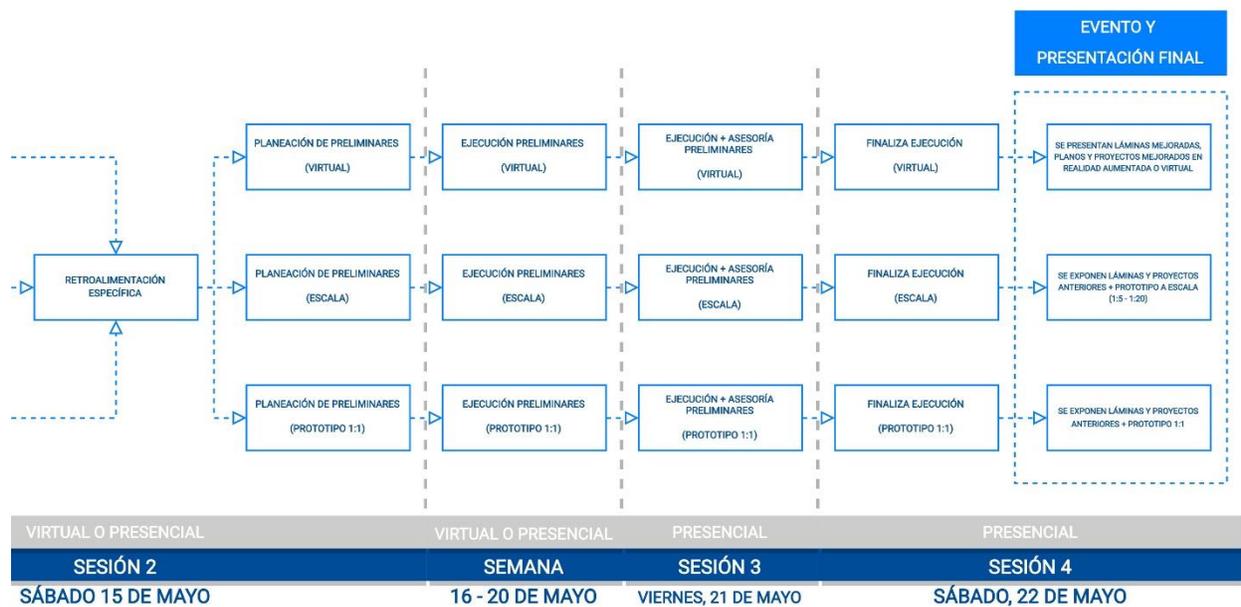


Figura 53: Dinámica adicional propuesta para el acercamiento a las propuestas de proyectos.
Fuente: elaboración propia.

Además, considerando los riesgos anteriormente descritos para el módulo 5 se planteó adicionalmente otra dinámica conteniendo diferentes posibilidades -o mejor dicho en inglés, *different case scenarios*- para el acercamiento pragmático adecuado de los prototipos, esto dependiente del grado de complejidad observado en las propuestas preliminares. Como se puede visualizar en la figura 53, se tomó a consideración que, si los proyectos terminarían siendo muy ambiciosos se podría tomar la decisión de no materializar todo el resultado en sí mas una parte de éste para seguir manejando cierto grado de aprendizaje práctico y pragmático con la fabricación por medio de las técnicas paramétricas, y dado otro caso en el que hasta la construcción de una parcialidad del proyecto siga siendo una tarea demasiado demandante, se podría dar continuación a la exploración y acercamiento pragmático del proyecto de modo digital, sin llevar a cabo actividades de fabricación mas centrar el desarrollo de modo digital al igual como lo fue el evento descrito en la UGR.



5.6.6. Planteamientos adicionales

Además de la planeación específica para cada módulo del diplomado, se realizaron planteamientos adicionales en función de los requisitos administrativos, previsiones ante la contingencia sanitaria necesarias para las sesiones presenciales, consideraciones y limitantes para el proyecto como el material, permisos para los espacios de trabajo, dinámicas para el desarrollo en equipo, entre otros aspectos; una consideración que resalta fue la definición de los entregables que cada alumno presentaría -de modo individual- como se puede observar en la figura 54, esto para la obtención de una calificación final en función de los porcentajes establecidos que evaluaría el desempeño individual a lo largo del curso. Hay que aclarar que, mientras los porcentajes para obtener una calificación final -con la expectativa de que este criterio fuera genérica para todo el diplomado- se plantearon bajo una consideración general, al final se contrastó la dinámica ejecutada en el tema de las calificaciones ya que *Educación Continua* solicitó la valuación del desempeño de los alumnos por cada módulo y no únicamente al final por todo el diplomado, por lo que cada ponente asignó su propio criterio de valuación generando que esta planeación se aplicara únicamente concluido el módulo 5.

CONCEPTO EVALUADO	DESCRIPCIÓN	VALOR
(Memoria de diseño - formato libre) Documentación de lluvia de ideas y conceptualización	El presente apartado consiste en describir y evidenciar de forma gráfica y textual todos los procesos y metodologías de trabajo conceptuales que se llevaron a cabo para la conceptualización del proyecto. Incluir descripción del problema, objetivos, bocetos, parámetros de diseño, entre todos los puntos pertinentes. La extensión y formato es libre, siempre y cuando toda decisión, proceso y desarrollo esté bien fundamentado y documentado.	10%
(Memoria de diseño - formato libre) Documentación de desarrollo y evolución de procesos y algoritmo generativo junto a integración BIM	El presente apartado consiste en describir y evidenciar de forma gráfica y textual todos los procesos y metodologías de trabajo trasladados y aplicados con el uso de herramientas digitales (RhinoCeros, Grasshopper y ArchiCAD). Incluir evidencia de versiones y evolución de algoritmo, resultados preliminares, planos y documentación técnica, listados y cuantificaciones, entre todos los puntos pertinentes. La extensión y formato es libre, siempre y cuando toda decisión, proceso y desarrollo esté bien fundamentado y documentado.	35%
(Memoria de diseño - formato libre) Documentación de procesos de fabricación digital	El presente apartado consiste en describir y evidenciar de forma gráfica y textual todos los procesos referentes e involucrados en la fabricación digital de los prototipos, desde la preparación de los modelos digitales hasta procesos involucrados en el resultado final en físico.	15%
(Fabricación Digital - escala libre) Maqueta física de prototipo personal	Mientras que para efectos de presentación y elección de proyectos en el Módulo 5 se requiere de un modelo físico, el presente apartado consiste en evidenciar de forma gráfica la fabricación satisfactoria del prototipo. La extensión y formato gráfico es libre.	15%
(Lámina(s) - vertical 90x60) Lámina(s) necesarias para presentación de propuesta	Mientras que para efectos de presentación y elección de proyectos en el Módulo 5 se requiere de lámina(s) que resume los puntos más importantes de cada prototipo, el presente apartado consiste en incluir y evidenciar el material manejado. El contenido y la cantidad de láminas es libre siempre y cuando se exprese de forma concreta los puntos clave de cada prototipo.	5%
(Reporte anexo - formato libre) Consideraciones ejecutivas y proyecto Integrador	El presente apartado consiste en describir y evidenciar de forma gráfica y textual todos los procesos referentes e involucrados en las consideraciones ejecutivas para la materialización del proyecto Integrador a escala real. Incluir descripciones, bocetos, planos, ajustes, gráficos, entre todos los puntos pertinentes. La extensión y formato es libre, siempre y cuando toda decisión, proceso y desarrollo esté bien fundamentado y documentado.	20%
TOTAL		100%

Figura 54: Propuesta inicial de entregables y ponderaciones. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, hay que agregar que mientras la planeación de las diversas dinámicas para los módulos se desarrollaron con el fin de mitigar riesgos y permitir una ejecución más fluido del diplomado, al momento de llevar a cabo las diversas dinámicas se realizaron ajustes y adecuaciones a las constricciones del momento; motivo por el cual aunque se realizó una cuidadosa planeación desde un principio, una de las consideraciones iniciales fue evitar sobre planear ya que siempre existirá cierto grado de divergencia pragmática que contrasta con lo planteado, puntos que se describen a continuación.

5.7. Ejecución, dirección y control de diplomado

Mientras que en el apartado anterior se explicó la planeación y organización para el diplomado recordando que se evitó la sobre planeación, a continuación, se describe la dinámica ejecutada para permitir observar precisamente los contrastes dados por la divergencia pragmática a diferencia de lo planteado.

5.7.1. Ejecución módulo 1: Introducción y conceptos teóricos (10 horas)

El primer módulo dio inició bajo una modalidad virtual con una bienvenida general a los participantes del diplomado junto a un tiempo para que cada docente se presentara, además, se comunicó por medio de una presentación la dinámica, requisitos, consideraciones, entregables como en general todos los puntos relevantes sobre el diplomado a los alumnos. Una vez concluida la bienvenida e introducción general, el docente del módulo procedió con una introducción a los conceptos teóricos relevantes sobre el diseño paramétrico y generativo como se puede visualizar en la figura 55 atendiendo en paralelo todas las dudas y preguntas que surgieron.

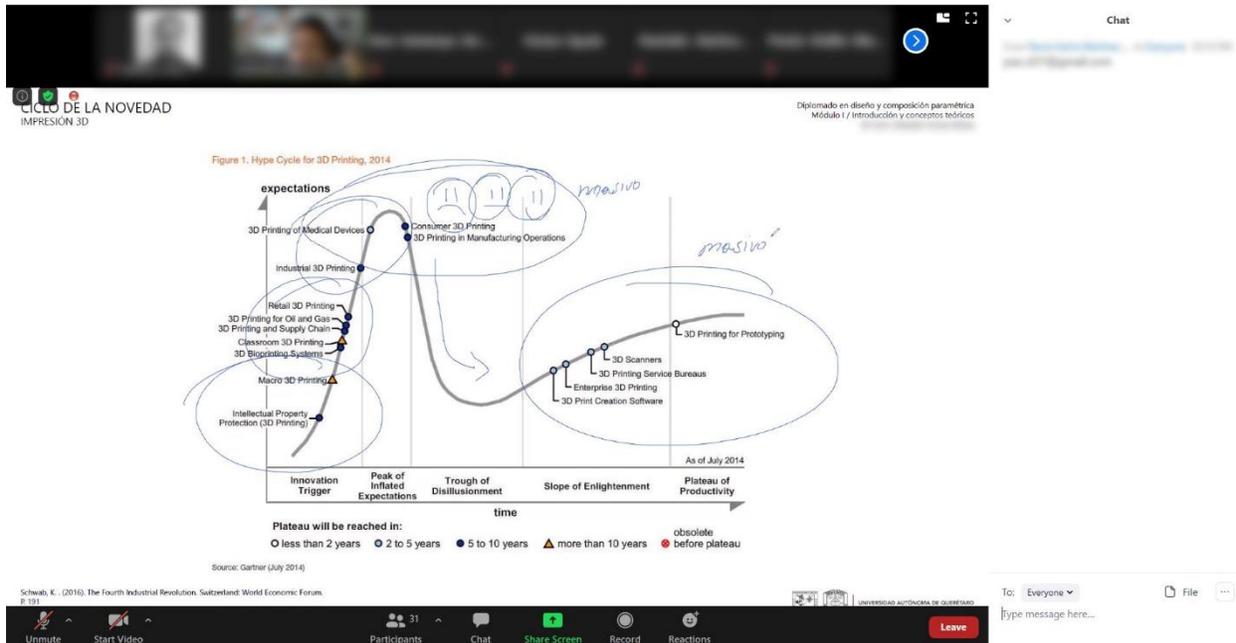


Figura 55: Revisión de conceptos teóricos en el módulo 1. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Una vez revisados los conceptos teóricos, se procedió con la siguiente dinámica del módulo que consistió en establecer los cimientos iniciales para el desarrollo del proyecto integrador y la conformación de los primeros equipos de trabajo. En resumen, se desarrolló una actividad virtual que radicó en la recopilación de datos facilitado por medio de una presentación en línea con apoyo de la herramienta de Google Slides®, como se puede visualizar en las figuras 56 y 57; en la que cada alumno almacenó -a modo de síntesis- información gráfica y textual en función de lo que solicitaba cada diapositiva -categorías de datos planteadas por el docente-; agregando que el área de trabajo también se subdividía a modo de *Células Voronoi* facilitando así que cada alumno tomara una célula para almacenar dentro de ésta los datos correspondientes. Se recopiló información sobre el perfil de los alumnos, algunos intereses como las primeras expectativas e ideas en función de los proyectos, permitiendo también originar los primeros equipos de trabajo en función de la correlación las ideas y expectativas, en conjunto también con las cualidades destacadas de cada estudiante para finalmente haber conformado equipos cercanos a los 3 integrantes por grupo.



Figura 56: Parte de las diapositivas de la primera actividad, en esta categoría cada alumno -y en el espacio de una célula- planteó a modo gráfico una lluvia de ideas para el proyecto de diseño paramétrico, esto fue en función de sus intereses y perfil. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

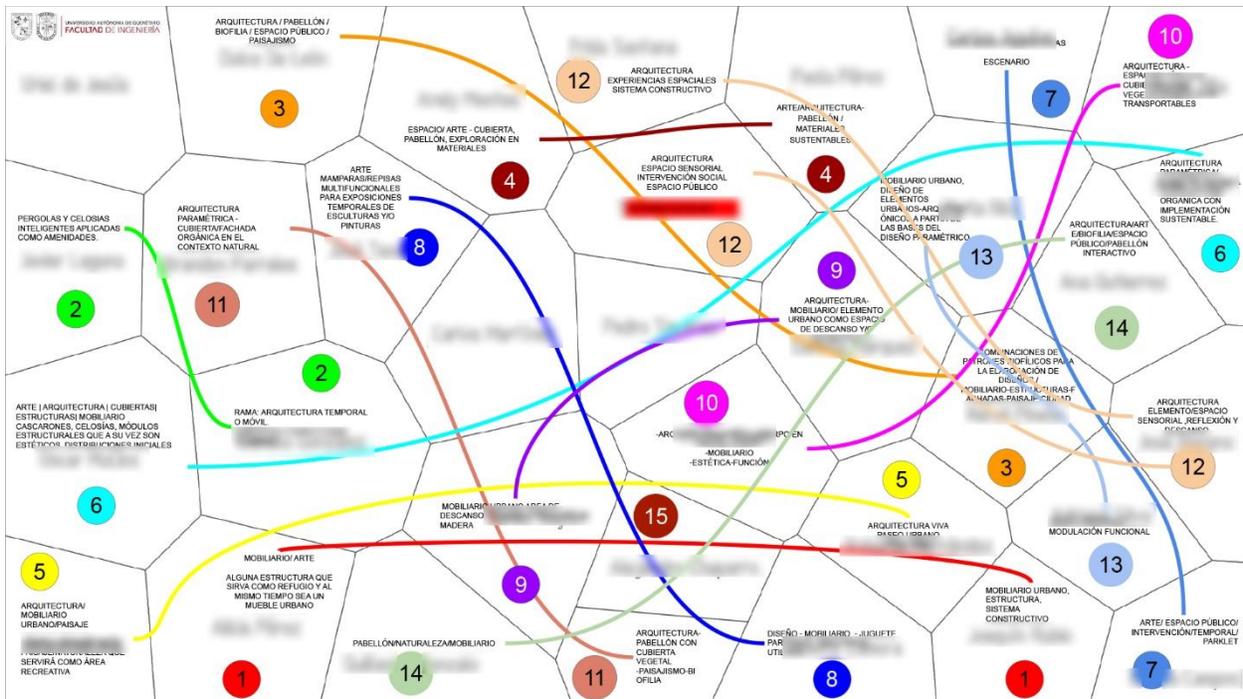


Figura 57: Parte de las diapositivas de la primera actividad, en esta categoría el docente unificó los intereses e ideas potenciales de cada alumno para formar los primeros equipos de trabajo. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Generados los equipos de trabajo, se procedió a otra actividad -en este caso ya fue colaborativa y entre los equipos conformados- que consistió en profundizar el planteamiento inicial sobre de las ideas para el proyecto. En esta ocasión el docente destinó un tiempo para que los equipos de trabajo comentaran y plantearan por medio de herramientas de expresión libre -como lo fueron imágenes, bocetos, escritos, fotomontajes, etc.- ideas cercanas a la intención y el concepto que se buscaba desarrollar con el manejo de las herramientas paramétricas como se puede observar en la figura 58, esto para resolver algún problema espacial identificado dentro del campus universitario de la UAQ.

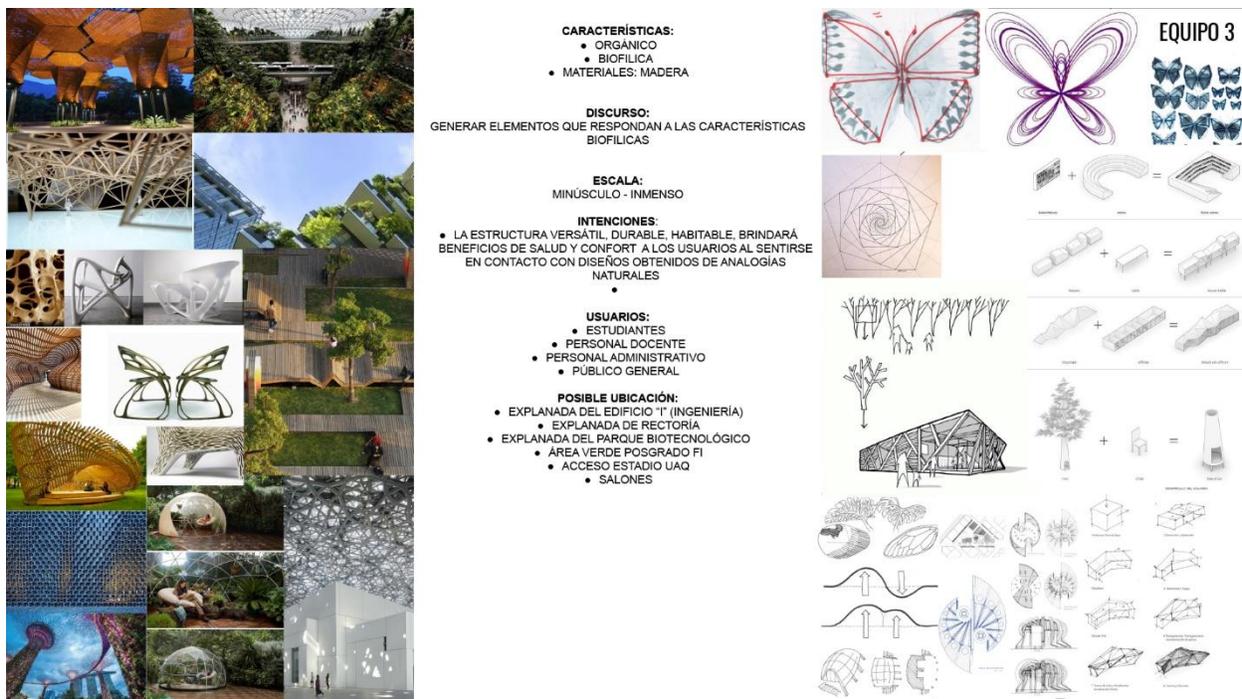


Figura 58: Extracto de diapositiva de la segunda actividad, en ésta se recopilaban las ideas individuales previamente planteadas y cada equipo de trabajo aterrizó un concepto más concreto con el manejo de herramientas expresivas a libertad de cada alumno, definiendo así los primeros parámetros de diseño para el proyecto. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Aterrizadas las ideas iniciales por equipos, se finalizó el módulo con una revisión y retroalimentación general de cada proyecto; por otro lado también se aclaró a los alumnos que no se perdieran de vista estos primeros planteamientos, ya que el proyecto se continuaría trabajando -a modo de tarea adicional- a lo largo del desarrollo de los

siguientes módulos mientras se aprendían las herramientas y técnicas específicas de cada bloque, agregando también que se daría aún mayor enfoque al proyecto hasta materializarlo a lo largo en el último módulo impartido por el mismo docente de este primer módulo.

5.7.2. Ejecución módulo 2: Rhinoceros + Grasshopper (30 horas)

El segundo módulo y conteniendo más horas para enfocarse completamente en el manejo de las herramientas paramétricas, inició con la docente llevando a cabo una revisión de los conceptos teóricos y aspectos técnicos relevantes para el desarrollo de geometrías complejas; posteriormente, se llevaron a cabo actividades prácticas con objetivos distintos con el fin de permitir a los alumnos el aprendizaje y la práctica del tema de modelado de volumetrías 3D por medio de la herramienta Rhinoceros, como se puede observar en la figura 59.

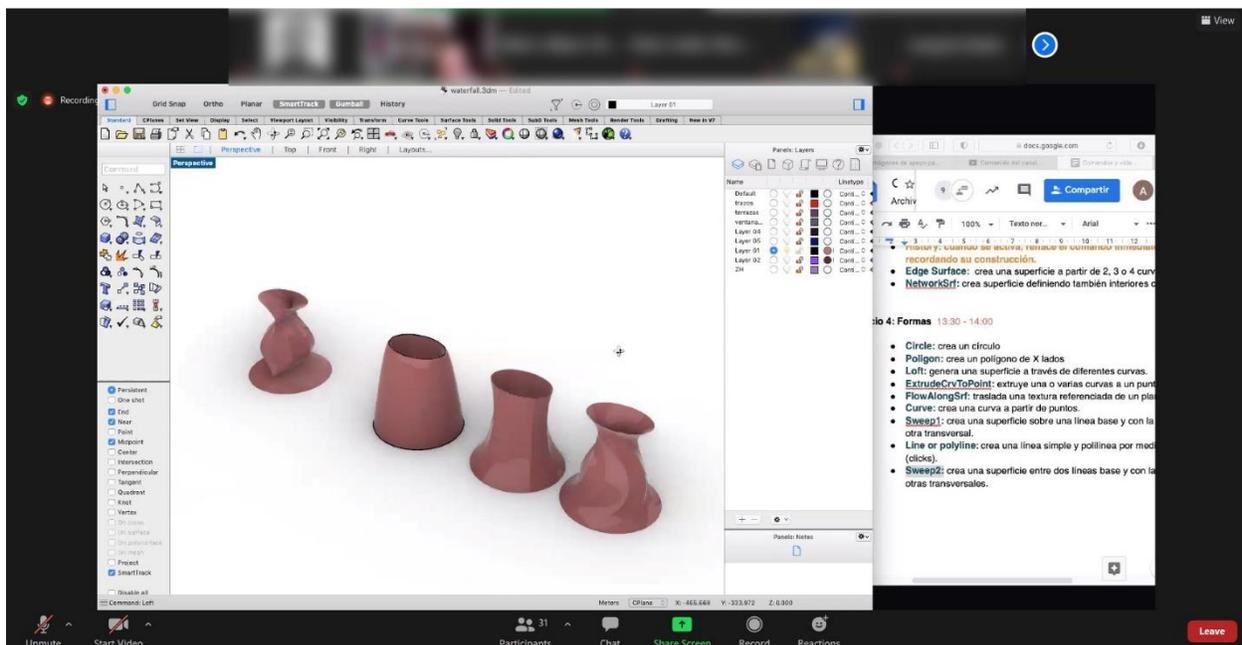


Figura 59: Desarrollo de sesiones y actividades prácticas sobre modelado 3D con la herramienta de Rhinoceros. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Conociendo Rhinoceros en un nivel base, en las siguientes sesiones se procedió al desarrollo de los distintos algoritmos con el manejo de la herramienta Grasshopper, revisando conceptos desde sus aspectos básicos y aumentando el nivel de complejidad con cada actividad hasta llegar al desarrollo de algoritmos básicos como se observa en la figura 60; además, se destinó tiempo suficiente antes de finalizar el módulo para que los alumnos trabajaran a mayor profundidad el proyecto planteado en el módulo anterior, permitiendo trasladar el concepto de la idea en una programación inicial que generaba las primeras iteraciones geométricas de cada proyecto.

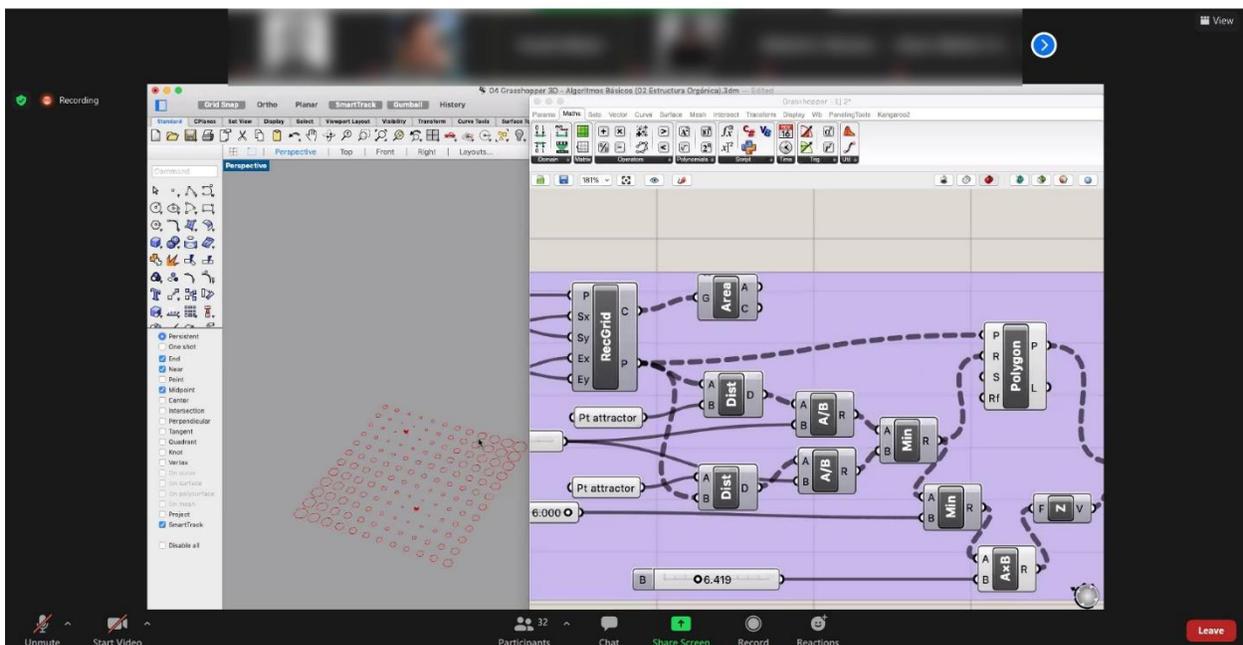


Figura 60: Sesión para desarrollo de actividad sobre programación visual con la herramienta de Grasshopper. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Se finalizó el módulo con la presentación de avances de proyectos -como se puede observar en la figura 61- por parte de los alumnos junto a la revisión, retroalimentación y el ajuste de los distintos algoritmos con el fin de mitigar los riesgos del último módulo para la fabricación de proyectos; es importante resaltar que, mientras algunos equipos de trabajo resolvieron correctamente los primeros objetivos planteados para el proyecto,

en otros se generó un ajuste bidireccional tanto en la idea como lo fue la programación del algoritmo, con el fin de acercar más a los alumnos a un resultado más viable.

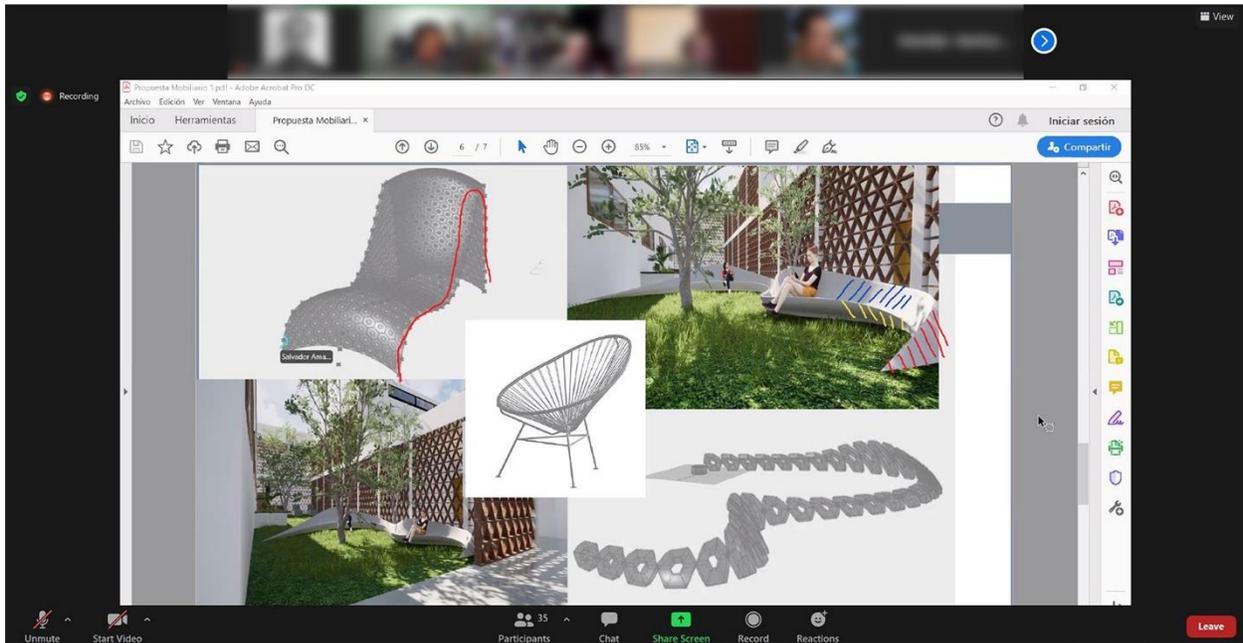


Figura 61: Revisión de avances y programación inicial de proyecto integrador a lo largo del diplomado. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

5.7.3. Ejecución módulo 3: BIM Integrado (20 horas)

Concluido el módulo sobre el manejo de las herramientas paramétricas, se procedió a dar inicio al siguiente bloque que consistió en la continuación y el manejo de estas herramientas a un grado de complejidad mayor, y por otro lado, en la implantación e integración de las funcionalidades del BIM con ArchiCAD con las geometrías paramétricas desarrolladas por medio de Grasshopper, esto con el fin de complementar y profundizar más los procesos generativos desde su desarrollo hasta la respectiva gestión de información en sus distintas dimensiones.

Se comenzó con la revisión de conceptos teóricos y procesos adicionales referentes al diseño paramétrico, para proceder con el desarrollo de prácticas sobre la gestión de información -creación y registro de metadatos y propiedades de los elementos BIM- con

el uso de ArchiCAD; se continuó con la revisión de ejemplos y conceptos sobre la sincronización en vivo de todas las herramientas, esto para poder generar geometrías base en Grasshopper para sincronizarlas con los diversos elementos BIM de ArchiCAD.

Además de revisar conceptos sobre la conexión en vivo de las herramientas, se desarrollaron distintas actividades prácticas; una consistió en la parametrización de una estructura y la integración de *Galapagos* -componente generativo- para la optimización funcional del elemento estructural como se puede observar en la figura 62; otra actividad consistió en la programación de una composición por medio del procesamiento de imágenes gráficas; se dio la revisión de algunas funcionalidades de un plugin para la interfaz de Grasshopper denominado *LadyBug* para el análisis de asoleamiento de las diversas iteraciones geométricas -además de la revisión de distintos criterios sustentables- como se puede visualizar en la figura 63; y se finaliza el módulo con el desarrollo y la parametrización de un edificio en altura, revisando diversas funcionalidades adicionales en la programación del algoritmo junto a su respectiva sincronización BIM.

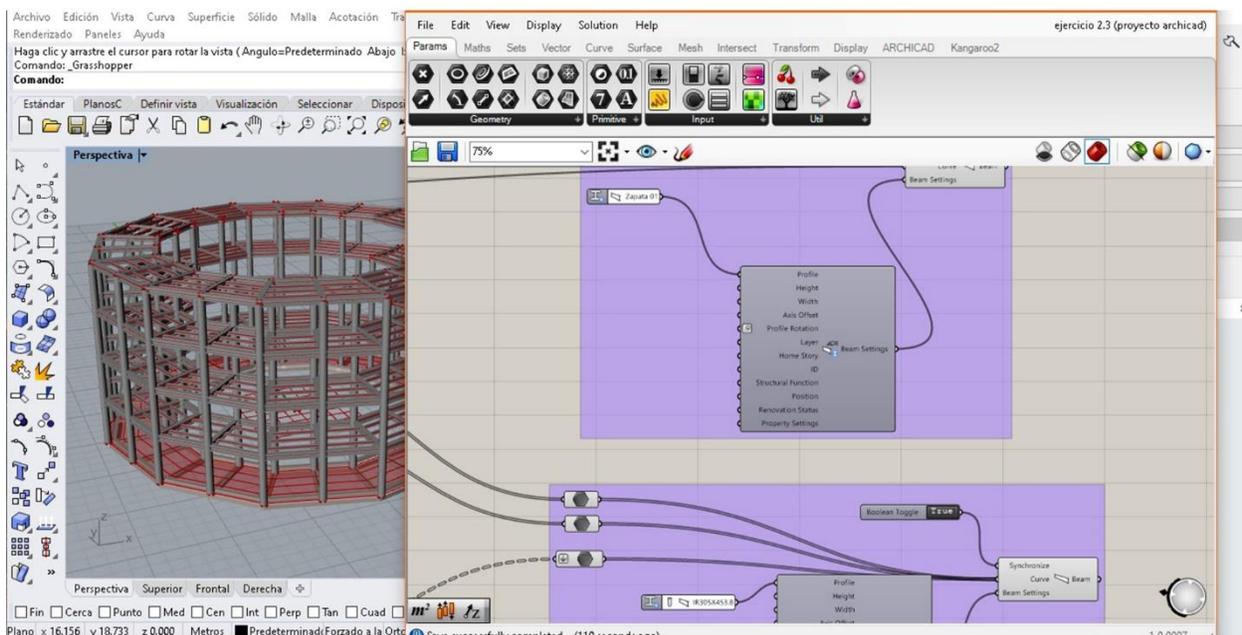


Figura 62: Una de las actividades que consiste en el desarrollo de una estructura generativa por medio de la conexión en vivo entre Rhinoceros, Grasshopper, ArchiCAD y la adición de Galapagos. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

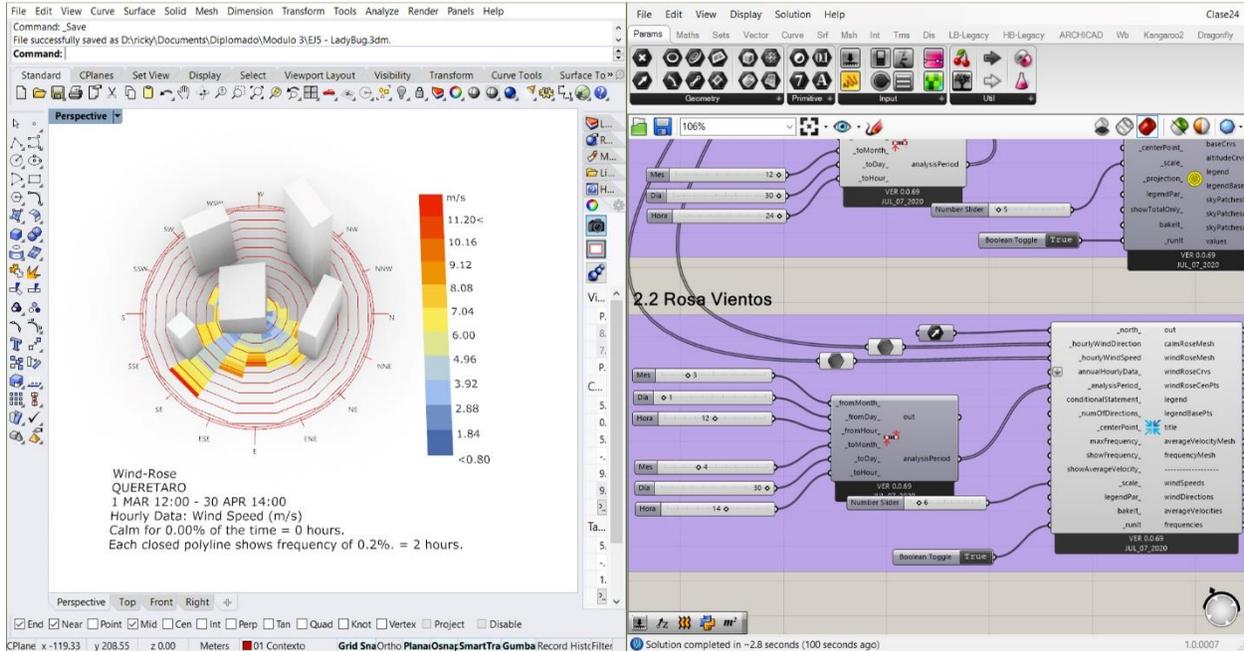


Figura 63: Revisión de conceptos de asoleamiento y criterios sobre sustentabilidad con el manejo del plugin LadyBug, íntegro en la interfaz de Grasshopper. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

5.7.4. Ejecución módulo 4: Fabricación Digital (20 horas)

Una vez concluido el módulo sobre la integración BIM, se procedió con la impartición del módulo que trata sobre la fabricación digital; mientras que este tema puede abarcar distintas posibilidades CAM presentes en los Fab Labs particulares a cada institución y lugar, en el caso de la UAQ se generó un énfasis en el concepto de la impresión 3D considerando que las propuestas de los alumnos se darían bajo geometrías amorfas y orgánicas -en otras palabras, composiciones formales que son más complicadas de fabricar por métodos manuales que por impresión 3D-; dicho lo anterior, el foco principal del módulo fue brindar todas las herramientas y asistencia necesaria con el fin de imprimir en 3D los modelos y las propuestas que los alumnos han estado trabajando en los bloques anteriores, con el fin de contar con una maqueta a escala en físico que asistiera la presentación de los prototipos en el último módulo.

A lo largo de las sesiones, el docente procedió a dar una introducción a modo presencial a los alumnos al espacio de trabajo con el que la UAQ cuenta, como se puede observar en las figuras 64 y 65, para que los estudiantes puedan realizar las pruebas requeridas para finalmente fabricar por medio de la impresión 3D sus propuestas; mientras algunas pruebas de impresión se lograron fabricar en su primer intento, otras presentaron reto y requirieron ajustes a sus respectivos modelos digitales en más de una ocasión, para que al imprimirlo se cumplan los aspectos técnicos implícitos en la materialización de una forma.



Figura 64: Espacio de trabajo dedicado a la impresión 3D, ubicado en la escuela de Artes y Oficios en UAQ Campus Aeropuerto. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Hay que agregar que existen diversos software -como lo pueden ser CURA®, Flashforge®, TinkerCAD®, CATIA®, entre otros-, técnicas y variedad de equipos para trabajar el tema de la impresión 3D en cada Fab Lab; en el caso particular de la UAQ, aunque se manejan variedad de equipos en los distintos planteles universitarios, en el espacio de trabajo de Campus Aeropuerto se manejaron las unidades y herramientas de Flashforge.

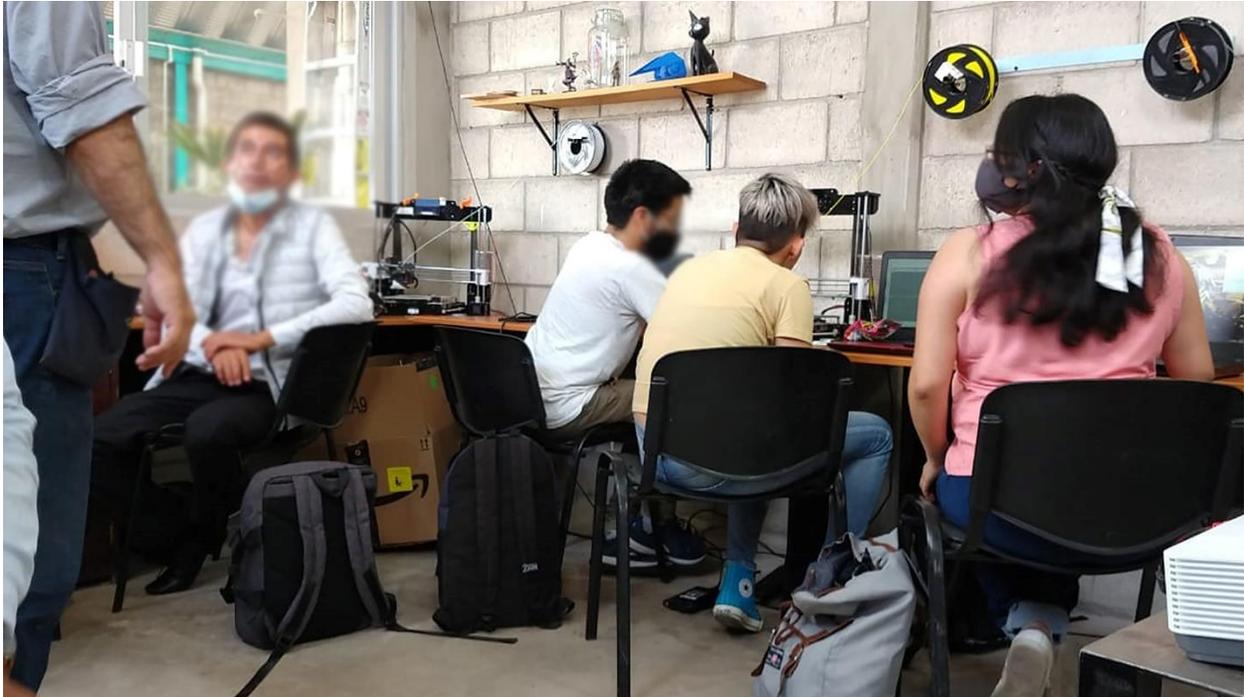


Figura 65: Desarrollo de módulo 4, el cual se trabajó de modo presencial y en aforos reducidos. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

5.7.5. Ejecución módulo 5: Proyecto Integrador (20 horas)

Finalizada la etapa de impresión 3D y dispuestos los alumnos en equipos de trabajo con variedad de material para presentar y trabajar, se dio la ejecución del último bloque en el que se culminó todo el trabajo.

Este bloque inicia de forma virtual con la presentación de los trabajos en la primera sesión, es importante aclarar que, aunque en un inicio fueron cerca de 30 participantes en el diplomado, al final -unificados los equipos de trabajo- se presentaron 9 distintos proyectos como se pueden observar en la figura 66. Una vez concluida la fase de exposiciones, se dio la respectiva retroalimentación -en apoyo de los docentes- a cada proyecto con sus particularidades, seguido de la formulación de una encuesta que se compartió a los alumnos del diplomado para que -de forma interna- evaluaran los diversos criterios de cada proyecto, y al final, votaran por el prototipo que consideraran

el mejor y más viable de materializar a escala real en el periodo de tiempo establecido para el módulo 5.

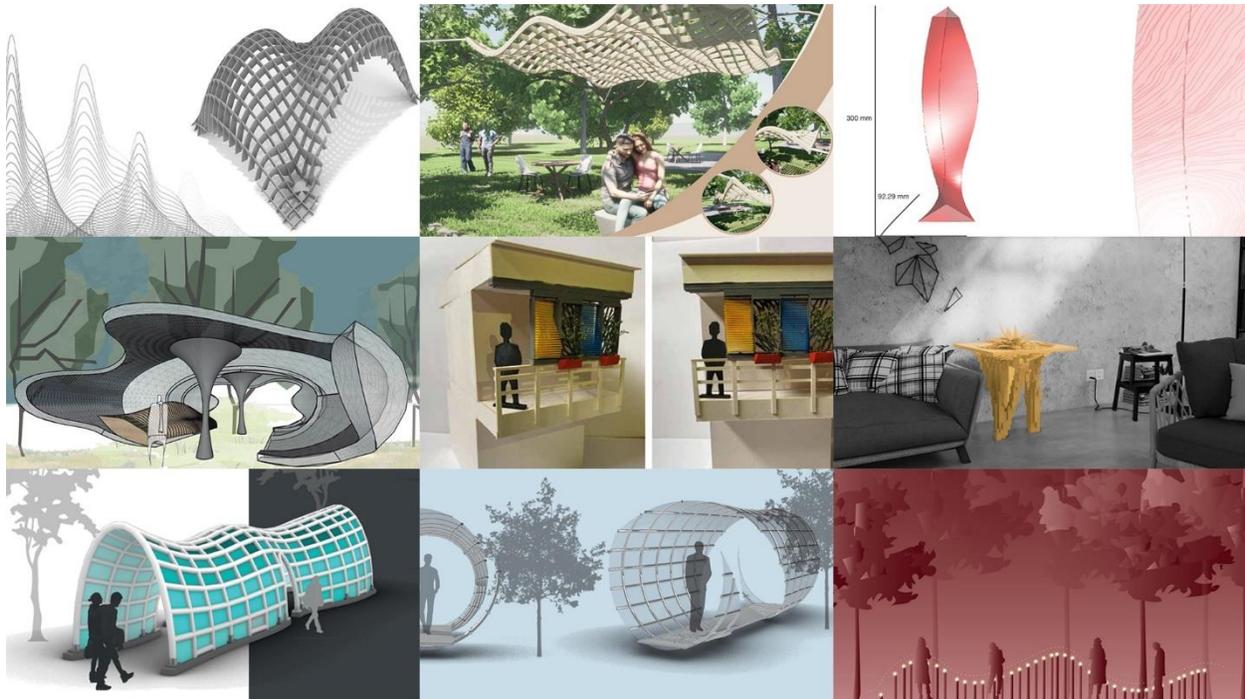


Figura 66: Se presentaron 9 proyectos a inicios del módulo 5, con cualidades y naturalezas distintas. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Al momento de obtener los resultados de la encuesta es cuando también se observó un efecto de parte de los alumnos que no se esperaba. Mientras las etapas de planeación circulaban en función de la expectativa de materializar un único proyecto, los resultados arrojaron un empate entre dos prototipos candidatos al tener el mismo número de votos; además, cuando se comentó el empate con los alumnos con el fin de obtener una resolución, los mismos estudiantes optaron y se comprometieron por la posibilidad de materializar dos proyectos; uno con un enfoque arquitectónico espacial bajo el nombre de *Anticubierta*, y otro con un enfoque de mobiliario generativo denominado al inicio *Mesamaceta* para después ser renombrado a *Bio-sa*, observados en la figura 67.



Figura 67: De los nueve posibles proyectos, se eligieron dos denominados *Anticubierta* (mitad gráfico superior) y *Bio-sa* (mitad gráfico inferior) para ser materializados a escala real. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Una vez elegidos los dos proyectos a materializar, se procedió con la organización y unificación de los 9 equipos de trabajo para formar dos grupos laborales mayores -entre 14 a 17 integrantes- con el fin de arrancar con las tareas necesarias para la fabricación de los prototipos; se dio inicio con los ajustes ejecutivos necesarios a los algoritmos previamente planteados -esto en cercanía y revisión constante con los docentes- con el fin de permitir la respectiva fabricación de las piezas necesarias. Mientras que para el proyecto de *Anticubierta* se hicieron los ajustes pertinentes para obtener el despiece de las piezas en placas de madera MDF por medio de corte a laser, junto a las partes verticales a ser fabricadas e instaladas a mano, casi todas las partes para el proyecto *Bio-sa* se desarrollaron por medio de corte en router cnc de placas de madera micro laminadas, para su posterior seguimiento bajo medios manuales.

Hay que aclarar que el tiempo destinado para el módulo 5 fue breve, y al ser la actividad de materializar dos proyectos a escala real una tarea más demandante de lo esperado, además de haber trabajado en los tiempos programados del diplomado hubo necesidad

de revisar y retroalimentar los prototipos -en conjunto con los docentes- fuera de los horarios de clase, punto que se aclaró y se concientizó con los alumnos antes de comprometerse con los proyectos; además de ello, es importante agregar que uno de los factores clave que influyeron para el desarrollo de las actividades se ligó a la motivación que los alumnos demostraron, ya que también hubo mayor compromiso e iniciativa de parte de ellos.

Adaptados los procesos ejecutivos en los algoritmos, se procedieron a desarrollar las siguientes sesiones del módulo en modalidad presencial -llevadas a cabo tanto en los espacios del edificio Biotecnológico como otros del campus Centro Universitario de la UAQ-, en las que se dio la organización de los alumnos como se puede observar en la figura 68, con el fin de arrancar con las labores necesarias desde la programación de los espacios de trabajo, la organización y distribución de actividades, el desarrollo de pruebas constructivas, obtención del material, la programación de archivos para corte a laser y corte router cnc, el ensamble y la construcción, entre otras que sumarían a la fabricación de los dos prototipos.



Figura 68: Organización de equipos de trabajo y actividades, llevado a cabo en las aulas del edificio Biotecnológico de la UAQ. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

A lo largo de la semana y en las últimas dos sesiones del diplomado -desarrolladas en viernes y sábado respectivamente-, se desarrollaron a cabo las diversas labores relacionadas a la ejecución y fabricación de los dos prototipos como se pueden observar en las figuras 69 y 70; mientras que el equipo dedicado a la materialización del proyecto *Bio-sa* desarrolló sus labores principalmente en el *Centro de Diseño e Innovación Tecnológica* (CEDIT) y el edificio *Biotecnológico*, el grupo enfocado en la fabricación del prototipo de *Anticubierta* llevó a cabo sus actividades tanto en los espacios del *Biotecnológico* como el *CEDIT*, y montó el proyecto en la *Plaza del edificio I* -el espacio apropiado por la licenciatura en arquitectura-.



Figura 69: Equipo Bio-sa, desarrollando actividades de cortado, resanado, pulido, ensamble, entre otras en el espacio del CEDIT. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)



Figura 70: Equipo Anticubierta, desarrollando procesos de ensamblaje con las piezas previamente cortadas a laser, esto dentro del espacio de la plaza del edificio I. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Finalizando la fabricación los prototipos, se procedió con la última sesión del diplomado que consistió en el cierre de las labores ejecutivas para llevar a cabo el evento de presentación de proyectos, difundido con el póster observado en la figura 71, invitación que se extendió desde tiempo atrás a la comunidad académica, pública y toda persona interesada en conocer los proyectos y las labores llevadas a cabo a lo largo del curso.

Este evento inició nuevamente con una exposición dentro del aula del edificio *Biotecnológico* de parte de los equipos de trabajo originales -como se puede observar en la figura 72-, y en apoyo de láminas y maquetas impresas en 3D -las cuales se presentaron en una ocasión a inicios del módulo 5- se presentaron los nueve prototipos inicialmente planteados. Hay que agregar que, en función de la retroalimentación dada en la primera exposición a inicios del módulo 5, algunos equipos actualizaron el material expuesto ya que ciertas láminas se complementaron con mayor información y mejoras gráficas previo a su presentación.

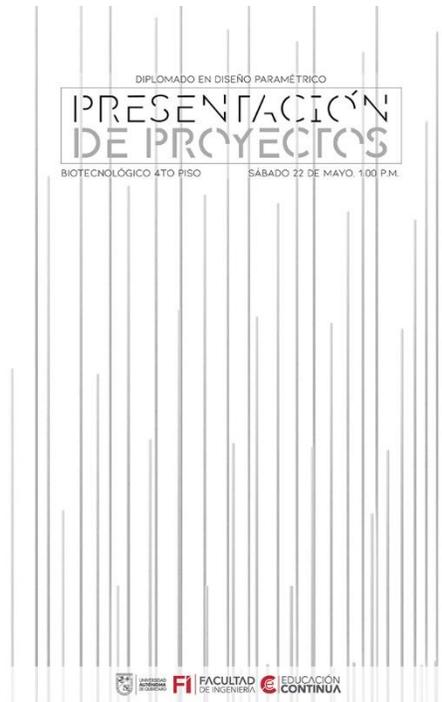


Figura 71: Póster difundido para el evento de exposición de proyectos, con la intención de dar cierre al diplomado bajo un acontecimiento formal. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)



Figura 72: Los nueve equipos de trabajo conformados entre 2 a 4 personas expusieron sus proyectos en el aula del edificio Biotecnológico de la UAQ; el evento de culminación también se transmitió en redes sociales. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Una vez finalizada la primera parte del evento se procedió con la siguiente que se llevó a cabo en la *Plaza del edificio I*, en la que los alumnos conformados en los dos equipos de trabajo expusieron los proyectos materializados a escala real y comentando características desde su concepto, proceso, algoritmo, retos, ventajas entre otros aspectos relevantes que influyeron para la elección y construcción de los prototipos, como se puede observar en las figuras 73 y 74.



Figura 73: Equipo Bio-Sa presentó su proyecto en el espacio de la plaza del edificio I. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)



Figura 74: Equipo Anticubierta presentó su proyecto en el espacio de la plaza del edificio I. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Para dar cierre definitivo al diplomado, los alumnos concluyeron sus labores con la documentación de su participación y experiencia en un booklet que se entregó finalizando el módulo 5 como requisito adicional para evaluación. Finalmente, en fechas posteriores se llevó a cabo la ceremonia de clausura del diplomado para la entrega de reconocimientos, junto a la presentación de un vídeo que documentó en formato audiovisual la experiencia del curso.

5.8. Retroalimentación posterior

Concluida la ejecución del diplomado, se destinó un periodo de espera entre 4 y 5 meses; hay que aclarar también que mientras se tenía presente que con mayor tiempo de espera se obtendrían más casos de aplicación e implementación de las técnicas aprendidas de parte de los alumnos en sus contextos laborales, hay que recordar que presente investigación se limita bajo una extensión de tiempo de aproximadamente 2 años, motivo

por el cual se destinó el periodo previamente mencionado con el fin de concluir el proyecto en el transcurso planteado.

Al final del periodo, se contactó a los 30 alumnos que tomaron el diplomado con el fin de llevar a cabo una encuesta de retroalimentación en la cual se obtuvieron 28 respuestas en total; en esta evaluación y en el primer apartado, se revisaron puntos desde el estatus del alumno examinando aspectos como fechas de inicio y conclusión de carrera, si es alumno local, foráneo o de intercambio, en qué área de la arquitectura se desenvuelve más, entre otros puntos clave del presente apartado. En otro bloque se consultó sobre su habilidad y perspectiva en el manejo de las herramientas digitales, en el que se tocaron puntos como su previo manejo de los instrumentos digitales, la dificultad, interés y motivación por el aprendizaje de nuevas herramientas, su perspectiva sobre la pertinencia y aplicación de éstas en el mundo laboral, entre otros aspectos. En el siguiente bloque se exploraron las perspectivas que se tienen sobre el tema del diseño paramétrico y generativo, averiguando aspectos como el interés y dificultad de aprendizaje, la asociación de conceptos y principios al tema, su pertinencia y aplicación en el campo laboral, así como la incentivación para la exploración de geometrías más complejas, entre otros puntos clave. Posteriormente, se evalúa la perspectiva de resolución de problemas que forman parte del tema del diseño paramétrico y generativo, en la que se presentaron gráficos de proyectos análogos con geometrías complejas para después explorar la perspectiva en lo complejo que consideran que es resolver la forma, lo difícil que es materializarla, así como la disposición de cada alumno de implementar alguna volumetría compleja o las técnicas paramétricas a futuro en sus proyectos laborales, entre la exploración de otros puntos. Además de la resolución se consulta también la aplicación de las técnicas, bloque en el cual se solicitó a los participantes en caso de que tuvieran la oportunidad de implementar lo aprendido ya sea a modo independiente o bajo un proyecto real del entorno laboral, que indicaran si por iniciativa propia emplearon o aprendieron aún más el tema después del diplomado, y que adicionalmente de modo breve compartieran su experiencia de aplicación junto a una corta descripción en lo que consistió el proyecto - dada la oportunidad-, adicionalmente, que indicaran si el empleo de la técnica generó beneficio o perjudicó el proyecto, finalizando el bloque con la evaluación de otros puntos. Por último y en el apartado final,

se generó una retroalimentación en general sobre la experiencia del diplomado, en el que se solicitó a los participantes evaluar la organización, contenido temático, desempeño docente, administrativo, así como las perspectivas de los alumnos de cómo se podría seguir implementando la enseñanza del tema en la UAQ, si la modalidad virtual afectó o benefició el aprendizaje, entre otros puntos.

Además de haber llevado a cabo una retroalimentación a los participantes del diplomado, se generó otra encuesta de evaluación a estudiantes con perfil similar a los que tomaron el diplomado, que concluyeron la carrera en arquitectura de la UAQ y llevan un tiempo laborando. Es importante aclarar que, mientras la primera encuesta enfocada en los participantes del diplomado generó suficiente retroalimentación para obtener resultados y conclusiones -además de disponer de suficiente información para observar criterios para la comprobación de la hipótesis-, la segunda retroalimentación se llevó a cabo con el fin de percibir contrastes clave entre ambas exploraciones que permitieran reforzar las observaciones y conclusiones, más que buscar diferencias entre los diversos grupos de control.

A continuación, en la tabla 01 se puede consultar el planteamiento general de los puntos a ser observados y contrastados entre el grupo experimental y control, con el fin de percibir contrastes y puntos clave que sumarán para la comprobación de hipótesis posteriormente.

Nomenclatura	
REFERENCIA	Referencia , puede ser general, textual, gráfica u otra, material necesario para contestar alguna pregunta más adelante o puede tener fines para el control de la encuesta.
PREGUNTA GENERAL	Pregunta general , no tiene vinculación directa con el objetivo de la investigación, pero tiene oportunidad de permitir observar algún comportamiento de interés.
PREGUNTA INSIGHT	Pregunta insight , está indirectamente ligada con el objetivo y permite medir un comportamiento para observar contrastes clave, también puede tener un sentido cualitativo.
PREGUNTA COMPARACIÓN	Pregunta de comparación , está directamente ligada con el objetivo y permite medir un comportamiento para observar contrastes clave.

Grupo Experimental	Grupo Control
POBLACIÓN OBJETIVO	
Alumnos de la licenciatura en arquitectura egresados o de últimos semestres, que cursaron el " Diplomado en diseño y composición paramétrica ", retroalimentación obtenida transcurridos entre 3 a 5 meses desde que completaron el curso.	Alumnos de la licenciatura en arquitectura, egresados o de últimos semestres con perfil similar al grupo experimental .
CANTIDAD DE MUESTRAS	
Máxima posible: 30 Mínima esperada: 20	En función del número de muestras del grupo experimental .
1) CONSENTIMIENTO INFORMADO	
2) DATOS GENERALES	
(Control) Indicar nombre del encuestado	N/A
(Aproximadamente) ¿Cuándo iniciaste la carrera?	(Aproximadamente) ¿Cuándo iniciaste la carrera?
(Aproximadamente) ¿Cuándo terminaste o estimas terminar la carrera?	(Aproximadamente) ¿Cuándo terminaste o estimas terminar la carrera?
Durante la carrera, ¿qué tipo de alumno fuiste? (Local Foráneo Intercambio Otro)	Durante la carrera, ¿qué tipo de alumno fuiste? (Local Foráneo Intercambio Otro)
¿Cuál es tu estado actual con la carrera? (Estudiante Egresado Titulado Otro)	¿Cuál es tu estado actual con la carrera? (Estudiante Egresado Titulado Otro)
¿En qué área te desenvuelves más? (Arquitectura Ingeniería Construcción Diseño Bioclimático Diseño Interior Urbanismo Herramientas Digitales Otro)	¿En qué área te desenvuelves más? (Arquitectura Ingeniería Construcción Diseño Bioclimático Diseño Interior Urbanismo Herramientas Digitales Otro)
(Abierto) ¿Hay algún otro dato más que quieras compartir sobre tu perfil?	(Abierto) ¿Hay algún otro dato más que quieras compartir sobre tu perfil?
3) HERRAMIENTAS DIGITALES	

<p>Previo al diplomado, ¿cuántas herramientas digitales manejabas anteriormente?</p> <p>(1 - 3 4 - 6 7+)</p>	<p>¿Cuántas herramientas digitales manejas actualmente?</p> <p>(1 - 3 4 - 6 7+)</p>
<p>Previo al diplomado, ¿contabas con algún antecedente en herramientas de programación?</p>	<p>¿Manejas alguna herramienta de programación?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto interés en general tienes por el aprendizaje de nuevas herramientas digitales?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto interés en general tienes por el aprendizaje de nuevas herramientas digitales?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tan difícil en general se te hace el aprendizaje de nuevas herramientas digitales?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tan difícil en general se te hace el aprendizaje de nuevas herramientas digitales?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto consideras que las herramientas digitales te abren la oportunidad al desarrollo de proyectos más complejos?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto consideras que las herramientas digitales te abren la oportunidad al desarrollo de proyectos más complejos?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tan necesarias consideras que son las herramientas digitales para la generación de formas y geometrías más complejas?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tan necesarias consideras que son las herramientas digitales para la generación de formas y geometrías más complejas?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tan importantes consideras las herramientas digitales en el entorno laboral?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tan importantes consideras las herramientas digitales en el entorno laboral?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tan importante consideras que es actualizarte en herramientas digitales?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tan importante consideras que es actualizarte en herramientas digitales?</p>
<p>(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en este apartado?</p>	<p>(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en este apartado?</p>
<h4>4) PERSPECTIVA DEL CONCEPTO</h4>	
<p>Antes al diplomado, ¿contabas con alguna formación previa en el tema del diseño paramétrico?</p>	<p>¿Cuentas con alguna formación en el tema del diseño paramétrico?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto interés tienes por el tema del diseño paramétrico?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto interés tienes por el tema del diseño paramétrico?</p>
<p>(Marca max. 3) ¿A cuál de las siguientes ideas asocias más el concepto del diseño paramétrico?</p> <p>(El diseño de un proceso Sistema complejo Forma de pensamiento Forma de trabajo Programación visual) (Un estilo estético Manejo de una herramienta Geometrías orgánicas o complejas Otro)</p>	<p>(Marca max. 3) ¿A cuál de las siguientes ideas asocias más el concepto del diseño paramétrico?</p> <p>(El diseño de un proceso Sistema complejo Forma de pensamiento Forma de trabajo Programación visual) (Un estilo estético Manejo de una herramienta Geometrías orgánicas o complejas Otro)</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tan complejo consideras que es aprender el tema del diseño paramétrico?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tan complejo consideras que es aprender el tema del diseño paramétrico?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto consideras que este concepto incentiva la exploración de geometrías más complejas en un proyecto?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto consideras que este concepto incentiva la exploración de geometrías más complejas en un proyecto?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto consideras que este concepto facilita el desarrollo de geometrías más complejas en un proyecto?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tanto consideras que este concepto facilita el desarrollo de geometrías más complejas en un proyecto?</p>
<p>Del 1 al 5, ¿qué tan importante consideras que es este concepto en el entorno laboral?</p>	<p>Del 1 al 5, ¿qué tan importante consideras que es este concepto en el entorno laboral?</p>

¿Conoces o sabes manejar alguna herramienta relativa al tema?	¿Conoces o sabes manejar alguna herramienta relativa al tema?
(Abierta) ¿Cuáles?	(Abierta) ¿Cuáles?
(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en este apartado?	(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en este apartado?
5) RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS FORMALES	
(Referencia) Gráficos con ejemplos análogos	(Referencia) Gráficos con ejemplos análogos
Del 1 al 5, ¿qué tan complicado consideras que es la generación de alguna de las geometrías de la imagen anterior con el uso de las herramientas digitales?	Del 1 al 5, ¿qué tan complicado consideras que es la generación de alguna de las geometrías de la imagen anterior con el uso de las herramientas digitales?
Del 1 al 5, ¿qué tan factible consideras la materialización de alguna de las geometría complejas?	Del 1 al 5, ¿qué tan factible consideras la materialización de alguna de las geometría complejas?
¿Consideras a futuro llegar a manejar el diseño paramétrico o explorar alguna geometría compleja en un proyecto?	¿Consideras a futuro llegar a manejar el diseño paramétrico o explorar alguna geometría compleja en un proyecto?
Del 1 al 5, ¿qué tan dispuesto(a) estarías en manejar el diseño paramétrico o explorar y desarrollar alguna geometría compleja en un proyecto?	Del 1 al 5, ¿qué tan dispuesto(a) estarías en manejar el diseño paramétrico o explorar y desarrollar alguna geometría compleja en un proyecto?
(Marca max. 3) ¿En cuál de los siguientes casos crees que sea probable que explores una solución formalmente compleja o integra del diseño paramétrico? (Diseño de todo un edificio o alguna de sus partes Diseño de algún elemento decorativo Automatización de un proceso) (Desarrollo de una celosía Desarrollo de un plafón Desarrollo de un piso Desarrollo de un mueble) (En diseño gráfico En una animación Ninguno de los anteriores Otro)	(Marca max. 3) ¿En cuál de los siguientes casos crees que sea probable que explores una solución formalmente compleja o integra del diseño paramétrico? (Diseño de todo un edificio o alguna de sus partes Diseño de algún elemento decorativo Automatización de un proceso) (Desarrollo de una celosía Desarrollo de un plafón Desarrollo de un piso Desarrollo de un mueble) (En diseño gráfico En una animación Ninguno de los anteriores Otro)
(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en este apartado?	(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en este apartado?
N/A	(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en general?
6) APLICACIÓN	
Bajo iniciativa propia, ¿has tenido oportunidad fuera del diplomado de explorar más posibilidades sobre el diseño paramétrico, el desarrollo de geometrías complejas o reforzar más sobre las técnicas aprendidas?	N/A
Bajo iniciativa propia, ¿has tenido oportunidad de implementar el diseño paramétrico o alguna geometría compleja en un proyecto o caso real fuera de lo académico?	
(Indicación) (En caso de responder "No", saltar las siguientes preguntas)	

(Abierta) Con una descripción breve, ¿en qué consistió dicho proyecto?	
Dicha implementación ¿generó beneficio o perjudicó el proyecto? (Benefició Perjudicó Otro)	
¿Seguirás manejando el diseño paramétrico o explorando geometrías complejas en proyectos a futuro?	
(Abierta) ¿Hay algo más que quieras compartir sobre tu caso de aplicación real?	
7) DIPLOMADO	
Del 1 al 5, ¿qué tan positiva calificarías tu experiencia en general del diplomado?	N/A
(Abierta) ¿Hay algo que quieras compartir sobre este punto?	
Del 1 al 5, ¿qué tan positiva calificarías la organización general durante el diplomado?	
(Abierta) ¿Hay algo que quieras compartir sobre este punto?	
Del 1 al 5, ¿qué tan positivo calificarías el contenido temático?	
(Abierta) ¿Hay algo que quieras compartir sobre este punto?	
Del 1 al 5, ¿qué tan positivo calificarías el desempeño docente?	
(Abierta) ¿Hay algo que quieras compartir sobre este punto?	
Del 1 al 5, ¿qué tan positivo calificarías el desempeño administrativo?	
(Abierta) ¿Hay algo que quieras compartir sobre este punto?	
Del 1 al 5, ¿qué tan aplicables consideras las herramientas aprendidas en tu desempeño profesional?	
(Abierta) ¿Hay algo que quieras compartir sobre este punto?	
¿Consideras que la modalidad virtual perjudicó o benefició tu experiencia durante el diplomado?	
(Benefició Perjudicó Otro)	

(Abierta) ¿Hay algo que quieras compartir sobre este punto?	
¿Consideras que se puede seguir implementando el tema del diseño paramétrico en la UAQ por medio de un diplomado?, o en caso contrario ¿por cuál otro medio?	
(Por diplomado Otro)	
(Abierta) ¿Qué considerarías que se puede mejorar en general del diplomado?	
(Abierta) ¿Hay algo más que te interesa compartir en general?	

Tabla 1: Metodología propuesta para obtención de datos tanto a los participantes del diplomado como estudiantes que no han contado con un acercamiento al tema, junto a la identificación de los puntos y contrastes clave que permitan obtener resultados cuantificables como conclusiones. Fuente: elaboración propia.

En la segunda retroalimentación se consultó el mismo número de estudiantes, aclarando también que en este caso se contactaron a personas que no han tenido un acercamiento al tema del diseño paramétrico y generativo -como lo fue en el caso de los alumnos del diplomado-, en el que se obtuvieron asimismo 28 respuestas. En esta encuesta se evaluaron los aspectos similares a la primera retroalimentación, puntos como los antecedentes del estudiante, uso de las herramientas digitales, la perspectiva sobre el tema, resolución y aplicación, entre otros, mas la única diferencia fue que aquí se omitieron características referentes al diplomado.

6. Resultados

Conociendo la metodología junto a los aspectos generales de la planeación y ejecución de la aproximación metodológica, a continuación, se procede a exponer los resultados obtenidos en sus aspectos cuantitativos y cualitativos; hay que aclarar también que la presentación de resultados se apega al orden consecutivo en que se desarrollaron los diversos acontecimientos a lo largo de la investigación. En resumen, se interpretan,

describen y grafican los datos más relevantes obtenidos a partir de la evaluación general sobre la carrera, retroalimentación de la prueba preliminar, valuaciones particulares posterior al diplomado, características relevantes de los prototipos del diplomado, proyectos fabricados, entre otros tipos de datos y resultados relevantes.

6.1. Retroalimentación general licenciatura en arquitectura

Con la finalidad de comprender mejor la población y la perspectiva general sobre la carrera de arquitectura en la UAQ, se desarrolló una evaluación compuesta de 9 apartados clave a los alumnos de últimos semestres en las que se obtuvieron un total de 20 respuestas de parte de los alumnos de 7° y 8° semestre y 60 respuestas de 9° y 10° semestre. Hay que resaltar que algunos de los estudiantes que respondieron esta encuesta fueron los mismos que cursaron el diplomado, ya que cuando un escolar se encuentra cursando los últimos años de la carrera una de las previsiones en mente es el medio de titulación, siendo los diplomados de actualización y profundización disciplinaria una opción válida que permitió desde un inicio considerar los parámetros del público potencial que representaría una parte de los participantes de la aproximación metodológica. Adicionalmente, la información en paralelo presentó un aporte a la coordinación de la licenciatura en arquitectura de la UAQ para el conocimiento de las áreas de oportunidades para la continua mejora de la carrera. Finalmente hay que aclarar qué se priorizaron las respuestas observadas a partir de lo recopilado de los semestres 9 y 10, ya que además de concentrar mayor número de respuestas (60) dejando menos lugar para lo aleatorio, fueron también de mayor relevancia para el diplomado al concentrar mayor número de alumnos que participaron finalmente en el curso y que formaron parte de los participantes tentativos en aquel entonces; y sin perder de vista lo recuperado en los semestres 7 y 8, se manejaron ciertas observaciones únicamente como un extra a lo ya visualizado a partir de los últimos semestre.

A continuación, se presentan los datos más relevantes a partir de la encuesta de evaluación general sobre la carrera que contuvo cerca de 159 preguntas.

6.1.1. Apartado 1: Perfil del alumno

En este apartado se plantearon preguntas que giran en torno a características particulares de los alumnos como sus habilidades, intereses, desintereses, motivos de ingreso como diversos otros aspectos que permitieron generar un primer acercamiento para conocer a la población. Algunos de los datos relevantes revelan que los alumnos de la carrera en arquitectura de la UAQ están equilibrados en términos de género, en el que el 53.3% representó a las mujeres y el 46.7% a los hombres; mientras esto no impactó directamente los resultados de los proyectos o la planeación del diplomado, hay que resaltar que fue un signo positivo observar equilibrio de género dado en la carrera ya que se consideró que esto sumaría a la diversidad de ideas; además, se observó que el 38.3% de alumnos indicaron ser de proveniencia foránea, motivo por el que se consideró que cierto grado de estudiantes contarían con una percepción del contexto geográfico local diverso al de los alumnos locales, lo cual pudo llegar a representar mayor reto al momento de plantear un problema a resolver en el contexto de la institución universitaria.

Otros datos relevantes indican que la mayoría de los alumnos iniciaron la carrera entre los años de 2013 y 2016 -algunos inclusive en el año 2017-, mas el patrón común es que todas las generaciones de alumnos formaron parte del plan curricular ARQ-12, mientras que los alumnos se formaron bajo un plan de materias comunes se consideró que siempre existirá cierta divergencia de habilidades en cada grupo, dado por factores externos como la competitividad y desempeño particular de cada generación, ligeros cambios de actividades en las materias, los docentes que imparten la asignatura cada semestre, entre otros.

Mientras que se observaron diversos intereses de parte de los alumnos en la carrera de arquitectura como se puede visualizar en el gráfico 01, se visualizó el interés por las herramientas digitales entre las 5 características dominantes como un ámbito que facilitaría positivamente la ejecución del diplomado; motivo por el cual para la planeación del diplomado se consideró que además de profundizar y emplear el atractivo por las herramientas digitales, se daría en paralelo una conexión a las áreas de interés con

mayor afinidad como lo fueron el diseño arquitectónico, interior, urbano entre otros, buscando relaciones entre lo aprendido aplicado a proyectos y casos reales.

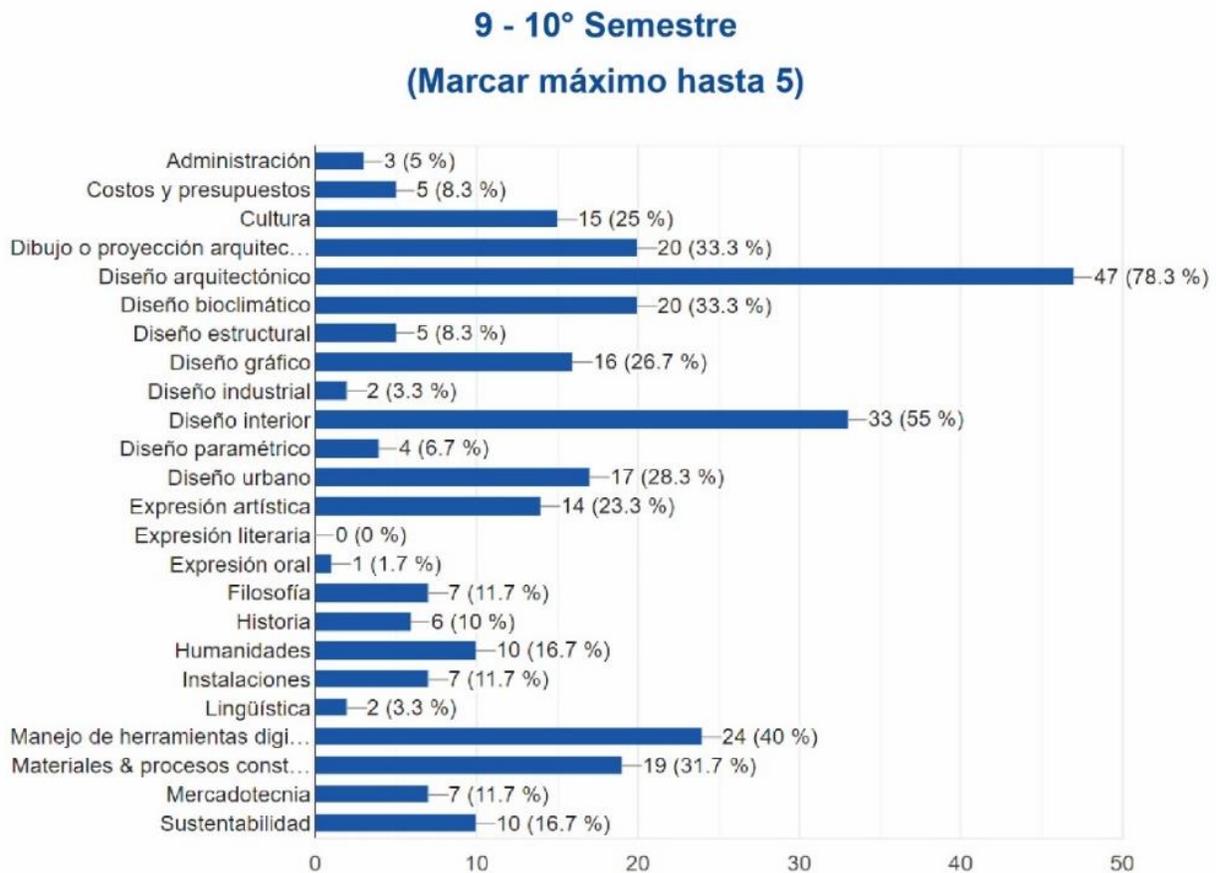


Gráfico 1: Resumen de resultados sobre la consulta de los intereses en la carrera de los alumnos.
Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.

Por último, se pudo observar que entre los tres factores por los cuales los alumnos indicaron permanencia en la carrera fue primeramente el gusto o interés, seguido del apoyo familiar y el nivel académico. Mientras algunos de los factores no fueron sencillos de adecuar para mantener la permanencia de parte de los alumnos en la aproximación metodológica, otros como haber propiciado el interés de los estudiantes por el tema fue un punto clave al momento de ejecutar el diplomado y dentro del rango de posibilidades de parte de los docentes, esto con el fin de ayudar a los alumnos a perseverar y disfrutar las actividades a lo largo del curso. Cabe destacar que cuando se conocen los motivos por los cuáles los alumnos han abandonado la carrera -al igual como se observó el caso

contrario siendo el gusto e interés el parámetro predominante- destaca adicionalmente el segundo motivo caracterizado por la sobrecarga académica, una particularidad por la cual se mantuvo cuidado al generar la planeación del diplomado.

6.1.2. Apartado 2: Carrera

En este bloque se llevó a cabo una evaluación sobre la carrera en arquitectura de la UAQ con el fin de conocer la perspectiva en relación a la misión, visión, valores, grado de satisfacción, competitividad, mejores herramientas, áreas de oportunidad, entre todo tipo de aspectos referentes a la carrera.

En los ámbitos referentes al grado de satisfacción, calidad de formación académica, docentes, administrativos, cumplimiento de la misión, visión, objetivo, valores, competitividad a nivel estatal, nacional entre otros distintos factores, los alumnos de los diferentes semestres bajo una escala Likert -del 1 al 5- y cercano al 70% de la población indicaron una valuación positiva, el único caso en el que se observó una calificación negativa fue en el aspecto referente a las instalaciones e infraestructura de la UAQ; este punto se percibe ya que al ser la presente institución perteneciente al sector público, cuenta con un recurso económico diferente al de las instituciones privadas, motivo por el cual se limita el contexto físico al estar limitado por las posibilidades económicas. Este punto se tuvo a consideración ya que la planeación de un diplomado en el contexto de la UAQ al disponer la institución con equipamiento y recurso económico distinto al de un contexto privado requirió de un acercamiento que no sobrepase los límites técnicos al grado de imposibilitar una actividad o proyecto.

Asimismo -y como se puede visualizar en el gráfico 02-, se generó una valuación sobre las habilidades más relevantes al egresar para el entorno laboral, en el que los alumnos indicaron la capacidad del diseño arquitectónico como la más importante, seguido de la administración y el control de obra, costos y presupuestos, colaboración y liderazgo, procesos constructivos entre otras características relevantes en segundo plano, y entre algunos de los aspectos en tercer plano destaca adicionalmente el de las herramientas

digitales. Precisamente, estos datos permitieron considerar la necesidad de los alumnos de últimos semestres de la carrera en arquitectura en verse involucrados en procesos tanto técnicos como constructivos relacionados a obra, lo cual se debe a que al momento de realizar prácticas profesionales finalizando la carrera -asumiendo que la mayoría de los alumnos desempeñan cargos en un despacho de arquitectura o constructora-, uno de los primeros roles que varios egresados asumen se relaciona con actividades derivadas de la obra. Visualizando dicho dato, se consideró que el aprendizaje planteado a lo largo del diplomado estableciera la conexión necesaria a los intereses observados de parte de los alumnos, siendo esto una de las causas que sumaron a la elección para la fabricación de un proyecto final, con el fin de conectar y sumar ciertos procesos ejecutivos.

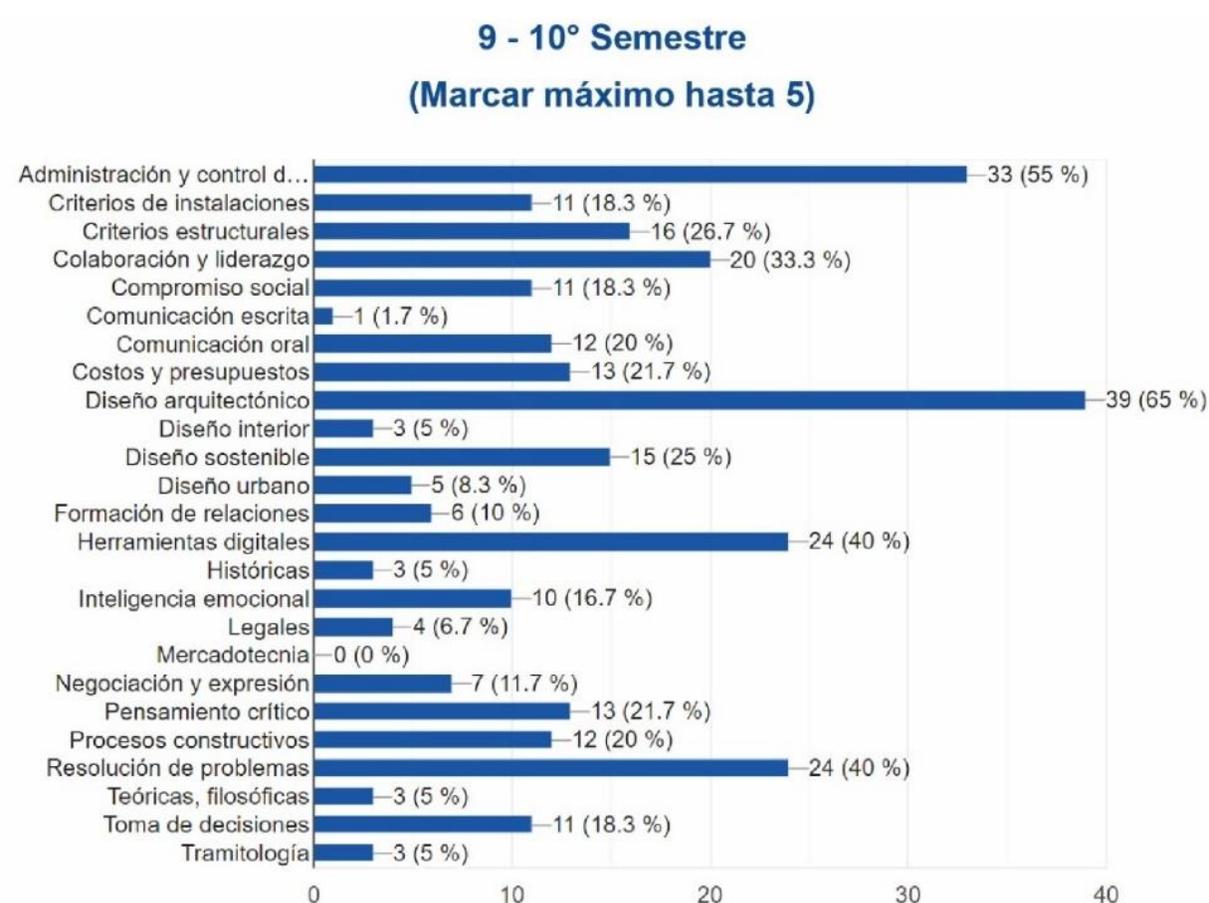


Gráfico 2: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos de las habilidades más relevantes para el entorno laboral al egresar. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.

6.1.3. Apartado 3: Plan Curricular

En este apartado se conoció la perspectiva que se tiene en torno al plan curricular junto a las ramas y materias que se correlacionan a lo explorado en el bloque previo. En términos generales, más del 75% de los encuestados indicaron un grado de satisfacción positivo con relación al plan curricular ARQ-12, mientras que más del 80% indicaron que la rama más relevante para la carrera es la de diseño, sustentabilidad y representación, en la que materias y optativas -al consultar los resultados de dos preguntas adicionales- como administración de obra, análisis estructural, instalaciones y equipos especiales, taller de proyecto ejecutivo, Opus®, administración y gestión de proyectos, sistemas constructivos y entre otras, resaltan como las más valoradas, reafirmando nuevamente la perspectiva de una necesidad más técnica en la formación de habilidades que suman y se relacionan a cuestiones ejecutivas.

Mientras que todo plan curricular dispondrá de áreas de oportunidad, cabe resaltar que en una de las preguntas abiertas que permitió a los alumnos sugerir qué materias se deberían agregar al plan actual, entre diversas sugerencias se observó también el tema del diseño paramétrico junto a las herramientas de Rhinoceros y Grasshopper, indicando que además de la necesidad técnica también existió cierto grado de interés de parte de los alumnos por el tema de la presente investigación.

6.1.4. Apartado 4: Formación de habilidades

Posteriormente, se evaluaron las habilidades y destrezas que los alumnos han formado a lo largo de la carrera, en la que aspectos como la resolución de problemas, pensamiento crítico, creatividad, toma de decisiones, ética y profesionalismo, autodisciplina, manejo de tecnologías, comunicación gráfica, liderazgo y trabajo en equipo, formación de relaciones, compromiso social, responsabilidad ambiental y el enriquecimiento cultural recibieron una valoración positiva al estar un aproximado del 70% de valuaciones en un rango positivo en la escala Likert; mientras que habilidades

como la administración personal y la gestión de personal se posicionaron en un rango neutral; y otras como el emprendimiento e iniciativa, psicología positiva, inteligencia emocional, control de estrés, comunicación escrita y oral, imagen y expresión corporal, negociación demostraron un posicionamiento en un rango negativo.

Al contar con un mejor acercamiento a las fortalezas y debilidades de las diversas habilidades que se formaron en los alumnos a lo largo de la carrera, se puede reafirmar que algunas destrezas como el dominio de las tecnologías, el liderazgo y trabajo en equipo, la creatividad, comunicación gráfica, resolución de problemas, pensamiento crítico, entre otras sumaron positivamente a la satisfactoria ejecución de los bloques a lo largo del diplomado, ya que presentaron beneficios para que las diversas actividades en conjunto con los alumnos se pudieran llevar a cabo; y al conocer riesgos y debilidades por el emprendimiento e iniciativa, comunicación escrita y oral, así como la necesidad de tener sensibilidad y tacto al impartir las sesiones desde un punto de vista psicológico, permitieron contemplar mejor las necesidades de los alumnos al momento de ejecutar el diplomado, como lo fue la cercanía de parte de los docentes con las ideas de los alumnos, la sensibilidad al momento de impartir las sesiones, junto a la preferencia por los medios gráficos para la expresión de las ideas y proyectos.

6.1.5. Apartado 5: Docentes

Este bloque se enfocó en evaluar diversos aspectos de los docentes de la licenciatura junto a las cualidades que los conforman, esto se valuó desde una perspectiva plural con la finalidad de mantener una valuación discreta y anónima. Mientras que en un aspecto general más del 70% de las valuaciones nuevamente afirmaron cualidades positivas de los docentes, también se observaron apartados en los que se evaluaron las características distinguibles que conforman a un buen profesor, cualidades que se pueden observar en el gráfico 03 en conjunto a las destrezas que los docentes de la carrera en arquitectura pueden reforzar visualizados en el gráfico 04.

9 - 10° Semestre
(Marcar máximo hasta 5)

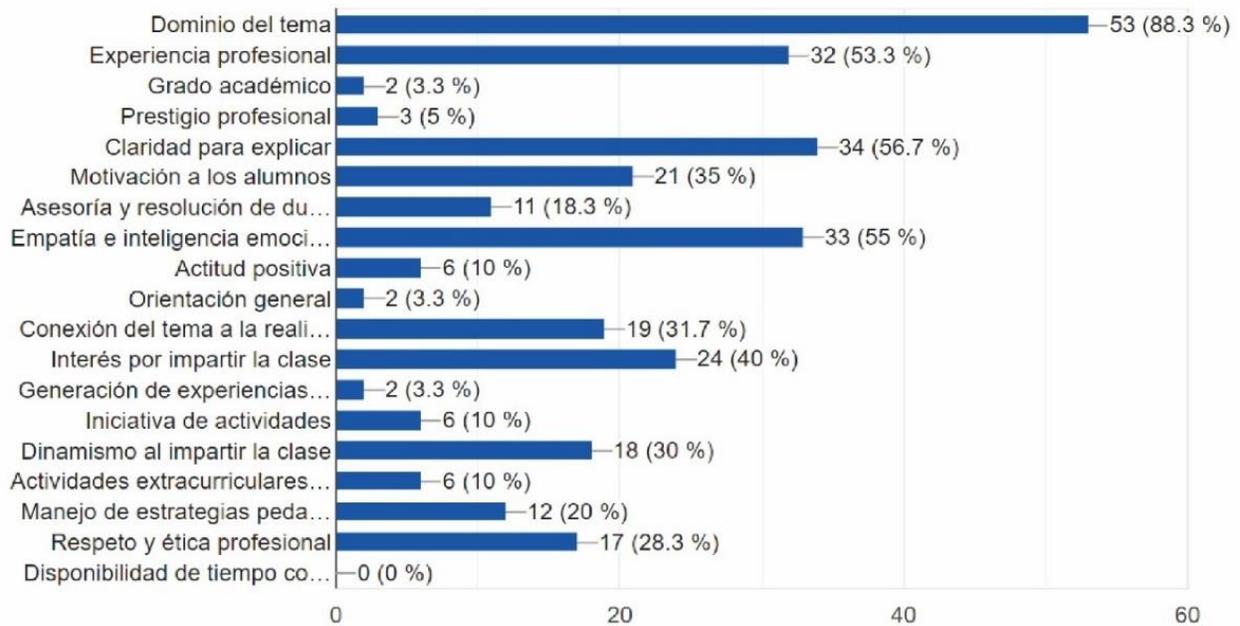


Gráfico 3: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos sobre las cualidades que definen a un buen docente. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.

9 - 10° Semestre
(Marcar máximo hasta 5)

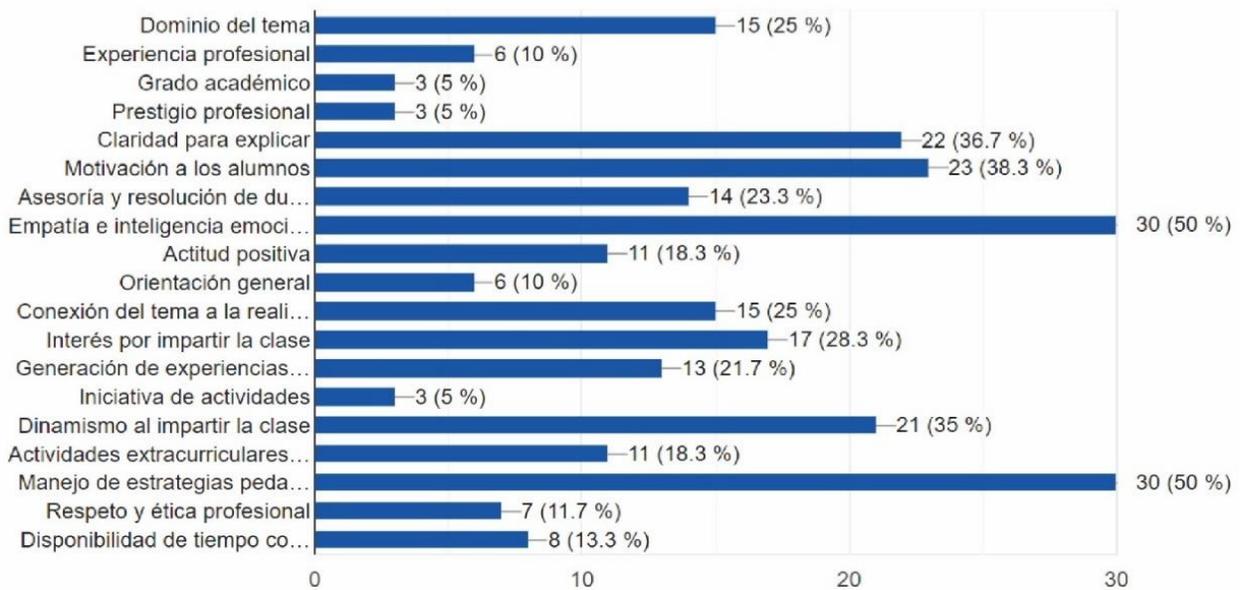


Gráfico 4: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos sobre las cualidades que los docentes de la carrera en arquitectura de la UAQ deben reforzar. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.

Como se visualiza en los gráficos, algunas cualidades que resaltaron y requirieron asimismo estar presentes al momento de haber impartido las sesiones del diplomado fueron el dominio del tema, claridad para explicar, empatía e inteligencia emocional, experiencia profesional, entre otras; ya que si un docente no contaba con la experiencia profesional, el dominio del tema junto a la capacidad para explicar los conceptos claramente era posible que esto llegara a perjudicar el aprendizaje de los alumnos. Y como se observó en el gráfico sobre las características a reforzar de parte de los docentes, el manejo de las estrategias pedagógicas, el cuidado a la empatía y la inteligencia emocional, la motivación y claridad para explicar los temas, representaron puntos de oportunidad de mejora dentro del contexto docente de la universidad, aspectos que asimismo se consideraron al momento de haber impartido el diplomado con el fin de no incentivar una percepción negativa en los alumnos.

6.1.6. Apartado 6: Compañeros

En este apartado se evaluaron las relaciones dadas en la generación de alumnos, ya que de modo similar los compañeros se convierten en un parámetro que impacta el rendimiento y aprendizaje de cada generación. Se observó que más del 70% de valuaciones calificaron positivamente la relación, competencia, iniciativa y dedicación, apoyo y cohesión grupal, interés y motivación, entre otros factores. Además de ello, se evaluaron las características positivas que conforman a un buen compañero en conjunto con los aspectos que se requieren reforzar, puntos clave visualizados en los gráficos 05 y 06.

9 - 10° Semestre
(Marcar máximo hasta 5)

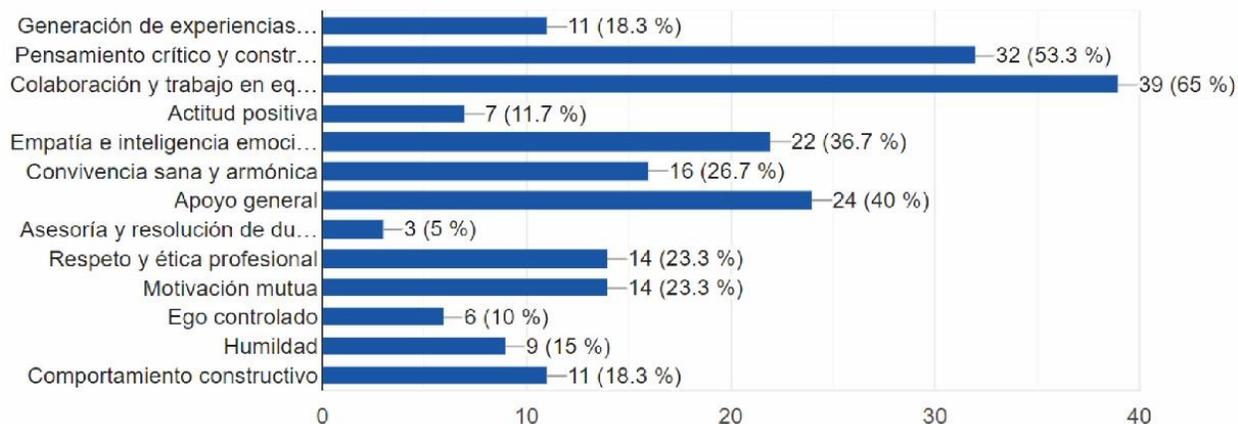


Gráfico 5: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos de las cualidades que definen a un buen compañero. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.

9 - 10° Semestre
(Marcar máximo hasta 5)

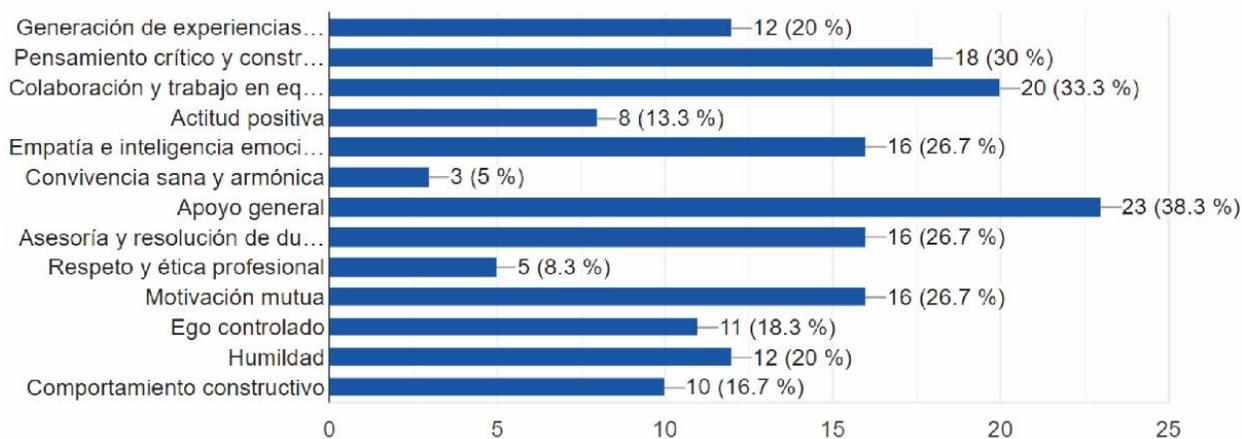


Gráfico 6: Resumen de resultados sobre la consulta a los alumnos de cualidades la generación de la carrera en arquitectura de la UAQ puede reforzar. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.

En función de lo que se pudo observar en los gráficos anteriores, algunas características a propiciar entre los alumnos destacan con el apoyo general, la motivación mutua, la colaboración y el trabajo en equipo, entre otros factores relevantes. Los presentes datos reafirmaron la necesidad de una dinámica colaborativa entre los estudiantes, con el fin de propiciar el trabajo en equipo más que nada, buscando también incentivar la sana convivencia y colaboración, motivo por el cual se prefirió el trabajo en equipo desde un inicio antes de haber ejecutado el diplomado, con el fin de que además de reducir el número de propuestas se propiciara la cohesión grupal en general.

6.1.7. Apartado 7: Infraestructura

A diferencia de los bloques pasados en los que los alumnos valoraron en general de modo positivo, en el presente apartado la evaluación general como particular mostró signos negativos. Y como se mencionó en una ocasión, al ser la UAQ una institución pública el recurso económico del que dispone para la mejora continua del equipamiento e infraestructura es distinto al de un organismo privado, siendo este uno de los principales factores por las cuales las instalaciones y el equipo con el que se cuenta presentan diversas áreas de oportunidad.

En concreto, los alumnos valoraron de forma negativa la cobertura de los espacios para la demanda de cupo -considerando que además de que existe alta demanda para cursar la carrera en arquitectura de la UAQ, ésta también crece cada año-, la ventilación de los espacios -añadiendo desde una experiencia personal que efectivamente éstos no son funcionales en el aspecto térmico-, la estética que presentan, junto a las condiciones que limitan las herramientas y el equipo de trabajo para que los docentes puedan impartir su clase -como lo pueden ser los pizarrones, plumones, proyectores, entre otros instrumentos-.

Mientras que el factor de infraestructura representa un riesgo para las actividades presenciales, hay que también recordar que, debido a la situación de la contingencia sanitaria dada a inicios del 2020, la mayoría de las dinámicas del diplomado se

plantearon bajo una modalidad virtual, mitigando en una parte el riesgo que presenta la infraestructura -sin descartar tampoco las ventajas y desventajas que representa una modalidad virtual-.

Mientras que las oportunidades se limitan al contexto de cada institución, sea esta privada o pública, los resultados de la encuesta también indican que los espacios e infraestructura particular de la UAQ -centro de cómputo, laboratorio de suelos, CEDIT, edificio biotecnológico, entre otros- son suficientes para cubrir las actividades base, señalado así por más del 55% de las respuestas que afirman una valuación positiva. Habrá que resaltar que mientras la UAQ dispone de espacios que cubren satisfactoriamente los requisitos para las diversas actividades a desarrollar, las oportunidades de implantación del proyecto de investigación podrían haber crecido en un contexto con mejor infraestructura.

Además y desde una experiencia personal de más de 8 años de haber cursado en el presente contexto académico, se puede agregar que la UAQ ha generado una inversión y mejora continua significativa en los diversos espacios que conforman el campus universitario; algunos de estos ejemplos incluyen la remodelación completa de la plaza del edificio I -espacio apropiado por la carrera de arquitectura-, remodelaciones significativas a varios salones que conforman los edificios de la facultad de ingeniería, crecimiento significativo de espacios como el gimnasio, la cafetería de la facultad de ingeniería, construcción de nuevos laboratorios especializados, entre otras áreas que han demostrado la mejora continua del equipamiento e infraestructura de parte de la universidad, a lo cual se puede agregar que las oportunidades de parte del contexto infraestructural de la UAQ crecen con cada año.

6.1.8. Apartado 8: Directivos y administrativos

A diferencia de la infraestructura de la UAQ que dispone de áreas de oportunidad, los alumnos indicaron en general perspectivas positivas sobre los directivos y administrativos que conforman los espacios, ya que más del 70% de respuestas

indicaron una valoración positiva; lo cual visto desde una perspectiva, mientras que los espacios pueden presentar áreas de oportunidad el hecho de que los directivos y administrativos desempeñan su labor satisfactoriamente puede llegar a compensar la cualidad negativa de los espacios. A esto hay que resaltar que, al momento de ejecutar el diplomado una de las cualidades positivas que sumaron a la experiencia general fue el apoyo que presentaron los directivos y administrativos, ya que esto facilitó en gran medida la ejecución de las distintas actividades tanto virtuales como presenciales.

6.1.9. Apartado 9: Modalidad virtual

Por último, se generó una valoración sobre la implementación y ejecución de las clases bajo una modalidad virtual en el entorno educativo de la UAQ, apartado que, desde un ámbito general presentó evaluaciones y opiniones mixtas. Mientras que la mayoría de los alumnos indicaron una adaptabilidad positiva de parte de la UAQ, docentes, coordinación junto a los directivos como administrativos, asimismo existieron valoraciones neutrales o distintas de parte del contexto espacial, familiar, junto a las soluciones técnicas al entorno personal de cada alumno.

Cuando se preguntó si la modalidad de aprendizaje virtual parcial o completa puede ser una solución viable y enriquecedora para la carrera a futuro, los alumnos presentaron valoraciones diferidas -posicionadas entre los rangos negativos, neutrales y positivos, con una ligera diferencia del 5% colocada en el rango positivo-; además, en la última pregunta que consulta el tipo de modalidad preferida, se afirmó que la solución favorecida fue la modalidad mixta en primer lugar, seguido de la modalidad presencial.

Mientras la ejecución del diplomado se limitó por la contingencia sanitaria, de todas formas, se dio la oportunidad de haber llevado a cabo actividades de forma presencial - bajo las medidas sanitarias- en los módulos 4 y 5, apegándose el curso a las preferencias por el tipo de modalidad híbrida de modo parcial lo cual en cierta medida se puede considerar que propició el flujo de aprendizaje.

6.2. Retroalimentación de pruebas preliminares

A continuación, se presentan algunos de los resultados más relevantes obtenidos a partir de la retroalimentación generada a estudiantes de 8° semestre de la materia de *Taller de proyecto ejecutivo 2 (laboratorio)* que formaron parte de la prueba preliminar del proyecto de investigación; basando estas observaciones en un total de 21 respuestas que arrojaron parámetros adicionales que permitieron basar decisiones para la posterior planeación del diplomado. A diferencia de la retroalimentación abordada en el apartado previo, esta encuesta fue más breve con un total de 40 preguntas, que de la misma forma retroalimentó categorías como el perfil del alumno, la experiencia de aprendizaje a lo largo de las sesiones de prueba, el desempeño docente, y la perspectiva de los alumnos para la implementación de este tema en la UAQ.

En el primer apartado se trató el perfil del alumno, y una característica que nuevamente destaca -de modo similar a la encuesta general previamente abordada- es la capacidad de los alumnos para el manejo de las herramientas digitales, ya que 61.9% de las valuaciones indicaron manejar entre 4 o 6 herramientas, 33.3% entre 1 a 3 y una minoría del 4.8% afirmó manejar más de 7, lo que nuevamente muestra signos positivos y reafirma la capacidad de los estudiantes para desenvolverse en el manejo de las herramientas tecnológicas.

Adicionalmente, dos puntos que destacaron de la misma categoría fue la valuación de la perspectiva de los alumnos por la dificultad y el interés de aprendizaje por los instrumentos digitales; en el que el 76.2% de las valuaciones indicaron facilidad de aprendizaje de nuevas herramientas tecnológicas al posicionar su valuación -bajo una escala Likert del 1 al 5- en un rango positivo, un 23.8% abordó una posición más neutral; en relación al interés, un 85.7% de las valuaciones indicaron interés positivo por el aprendizaje de nuevos instrumentos tecnológicos, mientras que el 14.7% indicó una valuación más neutral. Adicionalmente, otra pregunta que valúa la pertinencia y aplicación de las herramientas digitales en el sector laboral permitió observar que el 95.2% de las respuestas indicaron una importancia positiva, finalmente se abordó una pregunta abierta que permitió tocar aspectos más cualitativos, y del mismo modo se

puede observar una comprensión sobre la importancia en la actualización de conocimientos referentes al aprendizaje de nuevas tecnologías.

Adicionalmente, se generó una retroalimentación por la experiencia de aprendizaje del tema del diseño paramétrico, en el que se observó que el 80.9% de los alumnos indicaron nuevamente un interés positivo por el tema mientras que el resto mantuvo una postura neutral, a este dato se suman las observaciones obtenidas a partir de otra pregunta abierta, en la que varios alumnos indicaron comprensión por el potencial de oportunidades que permite el tema del diseño paramétrico; hubo también una observación negativa que indicó que por motivos técnicos de no haber podido instalar correctamente el software de trabajo, se perdió todo el interés por el tema. Precisamente esta observación permitió tomar en consideración la necesidad de dar la indicación a los participantes para que iniciaran el proceso de registro, descarga e instalación de las herramientas inclusive desde antes que diera inicio el diplomado, adicionalmente para la planeación de los módulos, se consideró un tiempo al inicio para la asesoría y resolución de problemas técnicos, con el fin de mitigar al máximo esta pérdida de interés dada por obstáculos técnicos.

A partir de estos datos se pudo percibir que la postura general de parte de los alumnos por el interés y la fluidez de aprendizaje por el tema y las herramientas implícitas fue positiva, lo cual generó la expectativa de que la implementación de un proyecto más desarrollado posteriormente -como lo fue el diplomado- sería acoplado de modo positivo por los participantes del contexto de la UAQ.

Además de que el interés por el diseño paramétrico se observó positivo, hay que resaltar que el 66.7% de las valuaciones relacionadas a la dificultad de aprendizaje de este tema se posicionaron en el rango positivo, mientras que el resto lo hicieron en el neutral y negativo. Adicionalmente, otra valuación sobre la perspectiva en la aplicación y pertinencia del diseño paramétrico para el sector laboral permite observar que el 76.2% de las respuestas indicaron una afinidad muy positiva, mientras que el resto lo manejo en el rango positivo.

A esto se suman algunas observaciones a partir de la consulta abierta, y se puede interpretar por un lado que el diseño paramétrico es un tema más contrastante a la línea de aprendizaje habitual de la carrera en arquitectura y que puede representar cierto grado de dificultad de su aprendizaje al inicio, ya que algunas observaciones indicaron nulo conocimiento previo o acercamiento a los instrumentos de programación visual. Y mientras que la prueba preliminar representó para casi todos los alumnos de plano el primer acercamiento a este tema nuevo, la facilidad de aprendizaje de este concepto dependerá finalmente de cada estudiante; a esto hay que agregar que al inicio del diplomado se observó un caso interesante, ya que el docente preguntó de forma abierta a los alumnos por su experiencia previa en el tema, a lo cual gran mayoría afirmó la presente prueba preliminar como su primer acercamiento. A partir de esto se puede interpretar que mientras el diplomado se planteó con la intención de formar a los alumnos en el tema del diseño paramétrico desde ceros, se puede considerar que otro de los factores que finalmente sumaron a la fluidez de aprendizaje se debió al hecho de que varios participantes ya disponían del primer acercamiento al tema un año atrás en la prueba preliminar.

Otra valuación calificó la facilidad para instalar las herramientas de trabajo, en particular Rhinoceros, Grasshopper y el complemento de la conexión en vivo con ArchiCAD, en la cual se observaron calificaciones mixtas, desde rangos de plano mínimos hasta máximos; aquí hay que comentar que en todo momento se propició el manejo de licencias educacionales o de evaluación, ya que éste tipo de versiones del software además de apegarse a los lineamientos éticos de la presente investigación, son los que menos riesgos de falla representan, motivo por el cual tanto en las pruebas preliminares como a lo largo del diplomado se reiteró constantemente el trabajo con versiones de herramientas oficiales, ya que otras adaptaciones representan mayor riesgo técnico.

Hay que también agregar que, mientras la instalación de Rhinoceros 3D es relativamente sencilla ya que en paralelo también se instala el instrumento de programación visual Grasshopper 3D a partir de la versión 6 de Rhino, el mayor riesgo de generar una falla se presenta con la instalación del complemento de la conexión en vivo con ArchiCAD, ya que éste tiene mayor demanda técnica al requerir de la disposición de todas las versiones

exactas de los instrumentos a sincronizar y la instalación de la versión correcta del complemento. A lo cual se reitera nuevamente a los participantes que descarguen e instalen las últimas versiones de las herramientas de páginas web de distribuidores y empresas oficiales, con el fin de mitigar al máximo la falla y el bloqueo técnico con la posibilidad de generar experiencias de aprendizaje negativas.

Concluida la valuación sobre el tema, se procedió con la retroalimentación del desempeño docente para impartir el tema a lo largo de la prueba preliminar. En este apartado se retroalimentaron cualidades como el dominio del tema, la claridad para explicar, la calidad de ejemplos y ejercicios prácticos manejados, la conexión del tema a la realidad, asesoría, resolución de dudas y motivación; a lo que, desde un ámbito general, cerca del 90% de valuaciones calificaron las cualidades en general del docente como positivas.

A esto hay que interpretar que algunos supuestos que sumaron una valuación positiva, fueron la fluidez, experiencia y dominio del tema junto a la capacidad para transmitir el conocimiento con claridad, asimismo hay que disponer de una cercanía en todo momento con los alumnos y tener cuidado para el manejo de prácticas que propician un aprendizaje escalable, en otras palabras, en el que se parte desde un conocimiento teórico para comprobar los conceptos hipotéticos por medio de prácticas que inician desde ceros -como lo puede ser el conocimiento de la interfaz de un software- y escalan cada vez en grado de dificultad -como la programación de un cilindro básico para proceder con el desarrollo de un algoritmo más complejo que integra el anterior-, esto cuidando en no repetir demasiado los conceptos ya vistos en cada práctica mas buscar el aspecto y valor agregado que cada ejercicio aporta a los alumnos. A esto hay que agregar que, se debe tener cuidado en no generar saltos bruscos en tema o destrezas desarrolladas al escalar los grados de dificultad en las prácticas, ya que existe la posibilidad de generar confusión y frustración en los alumnos, debido a una disrupción brusca en grado de dificultad de una práctica a falta de escalones constantes en la formación de competencias.

Por último se evaluó el apartado que busca recuperar la perspectiva sobre el mejor acercamiento en la implementación del aprendizaje del diseño paramétrico en la UAQ,

valuando puntos como el tipo de modalidad preferible -recordando la situación de la contingencia sanitaria y aclarando que la prueba preliminar también se llevó a cabo bajo un modelo virtual-, si este tema enriquece la carrera de arquitectura y el contexto laboral de Querétaro, y por último, el mejor acercamiento para la implementación del aprendizaje de esta rama temática en la UAQ.

Cuando se consultó si la modalidad presencial habría mejorado la experiencia de aprendizaje de los alumnos, el 47.6% marcó afirmación, el 38.1% mantuvo duda y un 14.3% indicó afinidad a la modalidad virtual, misma observación que se puede correlacionar con la retroalimentación general sobre la carrera en la que previamente se expresó un ligero dominio de parte de los alumnos de últimos semestres por el aprendizaje bajo una modalidad mixta, a lo que se volvió a considerar este tipo de modalidad para la planeación del diplomado. Además, el 100% de las valuaciones indicaron que la implementación del tema enriquecería la carrera en arquitectura, en la que algunos motivos cualitativos de la pregunta opcional abierta se asocian a la apertura de nuevas oportunidades para el diseño arquitectónico; adicionalmente, el 76.2% de los alumnos indicaron que este tema representaría también un beneficio para el contexto profesional de Querétaro, mientras que un 23.8% de las respuestas mantuvo una perspectiva dudosa.

Finalmente, se evaluó de modo semi abierto -en la que los alumnos pudieron agregar más opciones de ser así necesario- el mejor modo de implementación en el aprendizaje del diseño paramétrico junto a las herramientas que conlleva, en el que el 52.4% de las respuestas marcaron primeramente la opción de materia o serie de materias incluidas en el plan curricular de la carrera, el 28.6% indicó la posibilidad como un diplomado con duración de 100 horas, el 9.5% como un curso con duración entre 20 hasta 100 horas, y una minoría como optativa o actividad extracurricular agregada al plan de estudios.

Hay que comentar que, aunque se observa una afinidad dominante en manejar el presente campo temático íntegro al plan curricular de la carrera de arquitectura bajo una rama específica, hay que recordar que en aquel entonces se acaba de poner en marcha el nuevo programa ARQ-19 y pasarían varios años antes de disponer de la oportunidad de estructurar un nuevo plan curricular. En segundo lugar, se observó que hubo interés

por la opción de un diplomado, y se consideró que esta selección disponía de mejores posibilidades ya que cada semestre *Educación Continua* de la facultad de ingeniería organiza una serie de diplomados sobre diversos temas, y se consideró que este acercamiento representaba las mejores posibilidades de todas para el proyecto de investigación.

Una vez concluida la retroalimentación, se procedió a dar el siguiente paso -y como así se detalló previamente en la metodología- que consistió en la planeación, organización, dirección y ejecución de la implementación de este tema por medio de un diplomado.

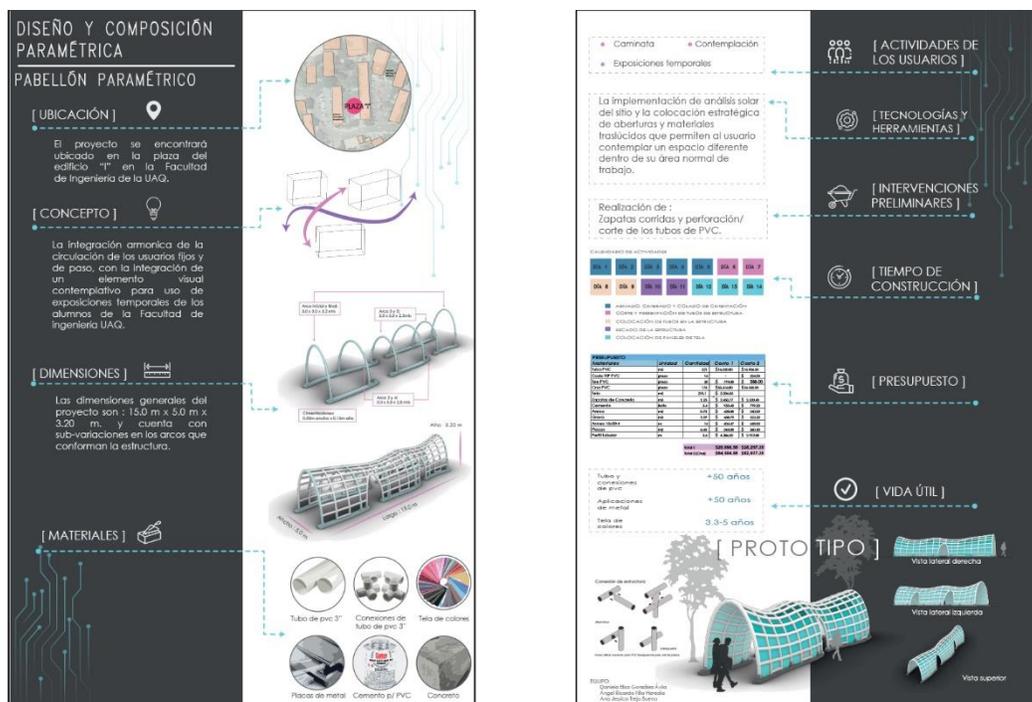
6.3. Prototipos preliminares

A continuación, se describen los prototipos diseñados y expuestos durante el módulo 5, los cuáles se trabajaron desde el primer día del diplomado bajo diversas dinámicas que fueron unificando y acercando las ideas de los equipos hasta llegar al planteamiento de las propuestas presentadas, que permitieron finalmente la elección del mejor candidato para su respectiva fabricación.

Asimismo, se exponen cada una de las valuaciones de los proyectos realizadas por los mismos alumnos y docentes, evaluando características de cada propuesta como lo fueron su concepto, economía, fabricación, complejidad geométrica, estructura, dimensiones, ubicación, materiales, vida útil y las adaptaciones ejecutivas necesarias para su respectiva construcción. Esto se llevó a cabo por medio de una encuesta, en la cual se obtuvieron un total de 31 valuaciones que finalmente permitieron de modo crítico observar las fortalezas y debilidades de cada prototipo para elegir los mejores candidatos para su respectiva construcción.

6.3.1. Propuesta por equipos 2,6 y 10: *Pabellón Paramétrico*

El prototipo con el nombre *Pabellón Paramétrico* el cual puede ser revisado en las figuras 75 y 76, se planteó para el espacio de la *Plaza del edificio I* como un elemento contemplativo de cuerpo geométrico extendido que permitiría la transición de los alumnos entre las áreas y que en paralelo funcionara como elemento que permitiera la exposición de trabajos de los alumnos de la carrera en arquitectura. Cuenta con perforaciones en función de criterios solares, y la propuesta de materiales consistió en el manejo de concreto para los cimientos, tubos y conexiones de PVC para la estructura, y telas que envuelvan la estructura arbitrando un juego de colores e iluminación para generar una atmósfera interior. Además, se generó una estimación en el costo del prototipo arrojando un rango económico entre los \$82,817 - \$84,504 mxn.



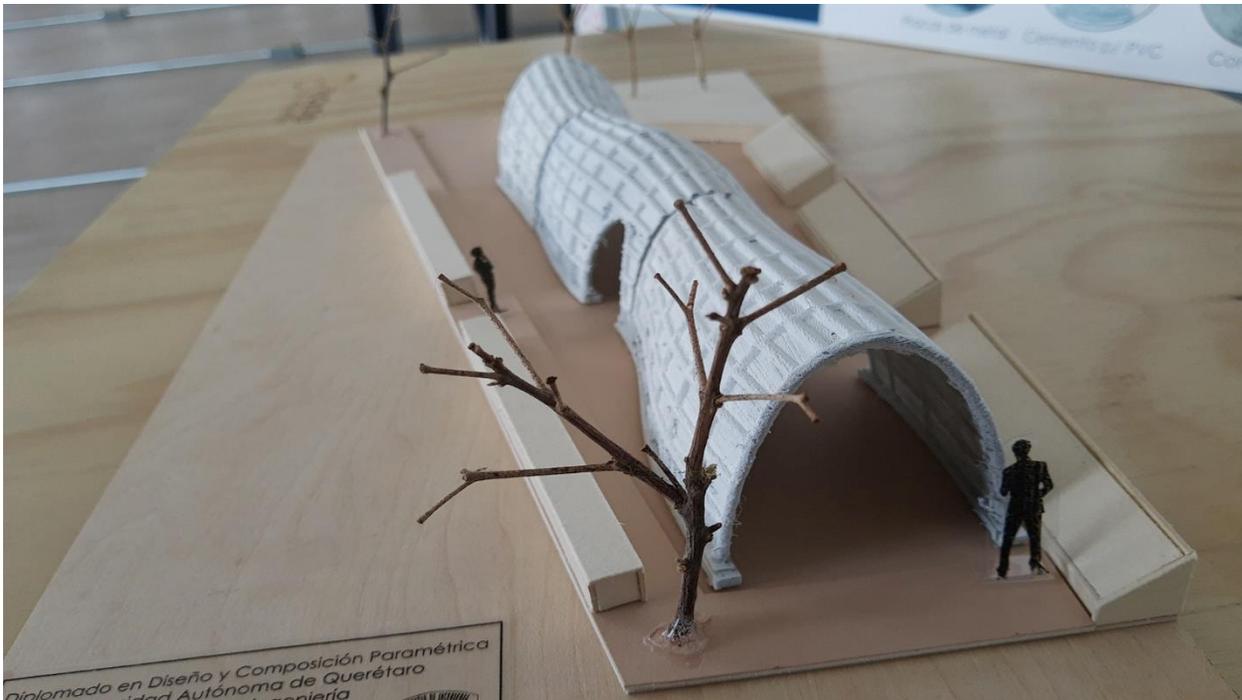
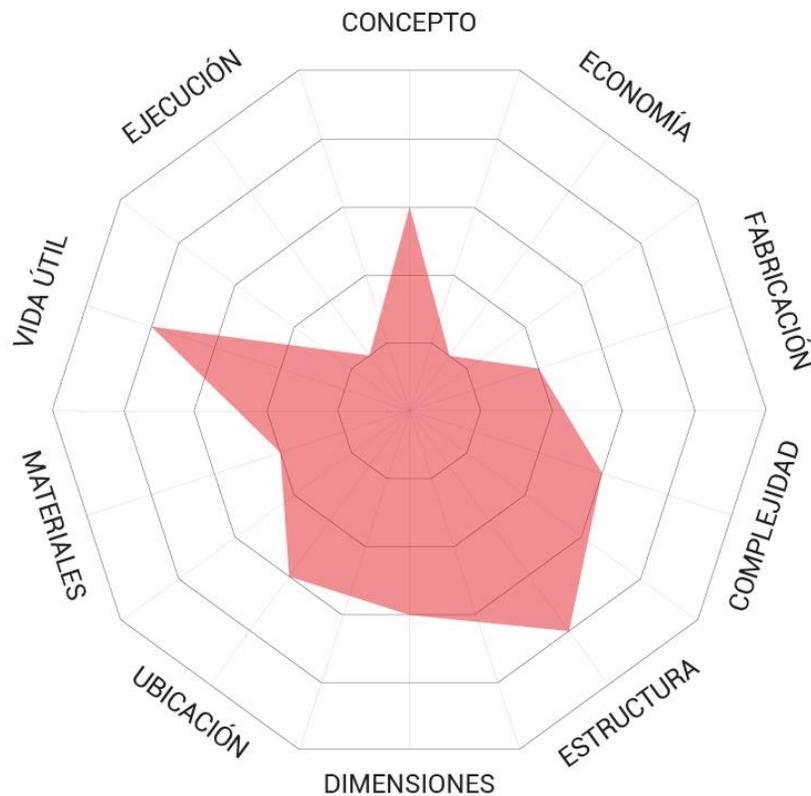


Figura 76: Propuesta del proyecto diseñada por los equipos 2, 6 y 10, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Al haber consultado los resultados de la valuación sobre la propuesta del presente prototipo y cuyos datos se resumieron en el gráfico 07, se observa que algunas características positivas se valoraron con la resolución de la estructura junto al potencial de vida útil que presenta el prototipo, mientras que los materiales elegidos junto a las dimensiones presentaron una perspectiva diferida -o empatada por número de votos-, y algunas características negativas destacaron en la consideración económica junto a las adaptaciones ejecutivas necesarias para la materialización del proyecto. Finalmente, hay que agregar que el 67.7% de las valuaciones indicaron que el mejor acercamiento para la materialización del proyecto sería por medio de la opción de *Prototipo o maqueta (1:2 - 1:50)*.



EQUIPO 2,6 y 10

Gráfico 7: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo Pabellón Paramétrico. Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Propuesta por equipo 3: *Bio-Sa*

El proyecto fue denominado inicialmente como *Mesamaceta* y a lo largo de su evolución adoptó el nombre de *Bio-Sa*, un prototipo que nace de la necesidad de implementar la biofilia en un elemento de mobiliario como se puede observar en las figuras 77 y 78. La geometría de la propuesta se origina a partir de una superficie orgánica que envuelve el espacio requerido para el mueble, y posteriormente se procesa por medio de un algoritmo que incluye funciones de optimización topológica. Para la propuesta de los materiales se planteó el manejo de madera, cartón y plástico, calculado en un costo inicial de aproximadamente \$880.00 mxn. Asimismo, cabe resaltar que el presente prototipo

presentó varias versiones en su propuesta geométrica, junto a una gama de exploraciones en su composición en contraste a otros proyectos, ya que en un inicio se generó una exploración con fractales, mas se consideró otra solución debido a la complejidad técnica que representaban las primeras exploraciones.



Figura 77: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 3, y plasmada en una lámina de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Hay que resaltar que este proyecto fue uno de los seleccionados para su posterior materialización a escala -por mayoría de votos al resaltar en sus cualidades-, aclarando asimismo que al momento se expone la versión inicial de la propuesta, ya que posteriormente el prototipo presentó una evolución a lo largo del proceso de adaptación y fabricación a escala real, cuyo desarrollo se documenta en apartados posteriores.



Figura 78: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 3, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Al consultar los resultados de la evaluación y como se puede observar en el gráfico 08, se puede decir que en casi todos sus aspectos se visualizó una valoración positiva y muy positiva. Finalmente, hay que agregar que el 100% de las valoraciones indicaron que el mejor acercamiento para la materialización del proyecto sería por medio de la opción de *Escala Real (1:1)*.

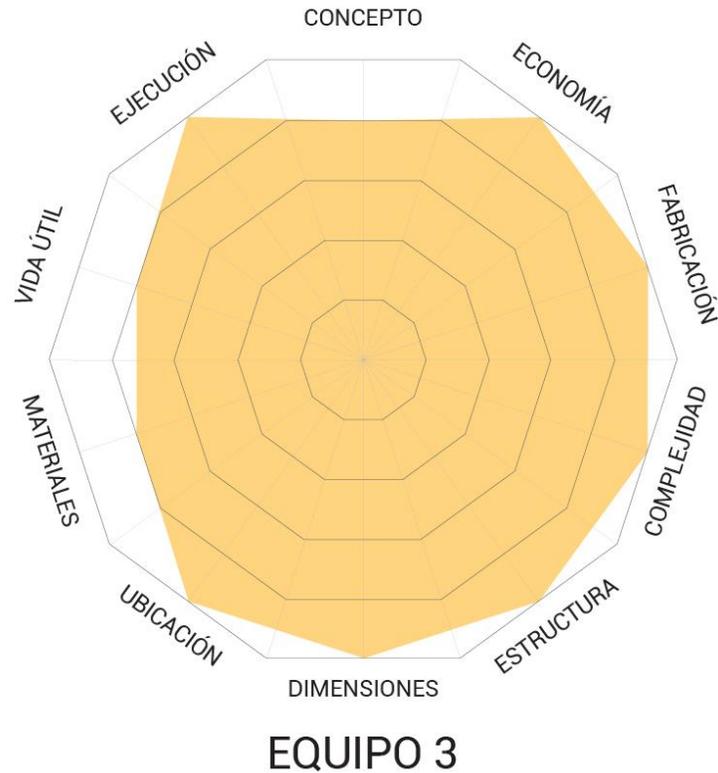


Gráfico 8: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo Bio-Sa.
 Fuente: elaboración propia.

6.3.3. Propuesta por equipos 4 y 10: *Celosía*

Celosía nace del problema de orientación presente en el edificio I, con el fin de permitir regular las temperaturas a lo largo de los salones con un mejor control y adaptación de la incidencia solar presente a lo largo del día, propuesta que se puede observar en las figuras 79 y 80. Además de manejar una modulación compuesta por geometrías amorfas, se incluye el componente biofílico por medio de enredaderas en partes a lo largo de su modulación. Para la propuesta de materiales, se consideró el manejo de perfiles metálicos para la estructura, madera tratada o soleras metálicas para los paneles, alambrión o cable de acero para la malla, finalmente hojarasca, tierra, hidrogel y arena para la composición de las macetas. Asimismo, se obtiene una estimación en el costo de la fabricación el cual genera un rango de costo entre \$6751 a \$7520 mxn.

Al consultar los resultados de la evaluación y como se visualizan en el gráfico 09, las características muy positivas se valúan con las dimensiones junto a la ubicación y el concepto, mientras que aspectos como la propuesta de materiales, percepción de la vida útil junto a las adaptaciones ejecutivas que requería el proyecto mostraron valuaciones neutrales, y finalmente, atributos como la economía, fabricación, complejidad y estructura presentaron observaciones negativas. Cuando se consultó el mejor acercamiento para la materialización del proyecto, se generó un empate entre dos posibles opciones, la de *Prototipo o maqueta (1:2 - 1:50)* y *Escala Real (1:1)* con el 45.2% de votos cada una.



Gráfico 9: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo *Celosía*.
Fuente: elaboración propia.

6.3.4. Propuesta por equipos 5, 13 y 1: *Crisálida*

El proyecto *Crisálida* nace a partir de la fusión de equipos de trabajo cuyas conceptualizaciones de propuestas previas se formaban bajo naturalezas distintas, en la que un proyecto manejaba una envolvente a un espacio verde mientras que el otro se enfocó en la generación de un mueble orgánico; al fusionar ambos proyectos se posicionó una nueva propuesta con una naturaleza curva y amorfa que integra tanto la cubierta como el mobiliario. Mientras que la cubierta nace de la necesidad de generar una envolvente íntegra de un espacio verde sin segregar al usuario del entorno bajo el concepto de mimetismo, la banca paramétrica se integra a la naturaleza de la cubierta al abstraer la adaptabilidad orgánica de la oruga para plasmarla en un concepto, como se puede observar en las figuras 81, 82 y 83. Mientras que la propuesta conceptual se expresó satisfactoriamente en las láminas de presentación, el prototipo careció de consideraciones materiales, técnicas y de costos lo cual afectó algunos aspectos al momento de la evaluación.

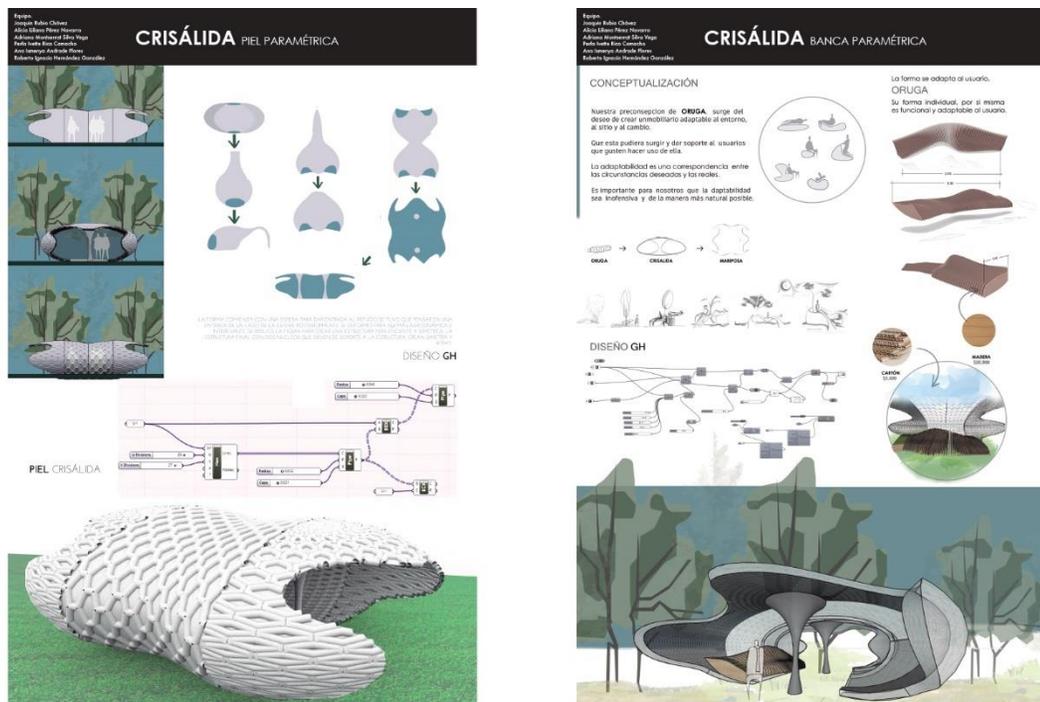
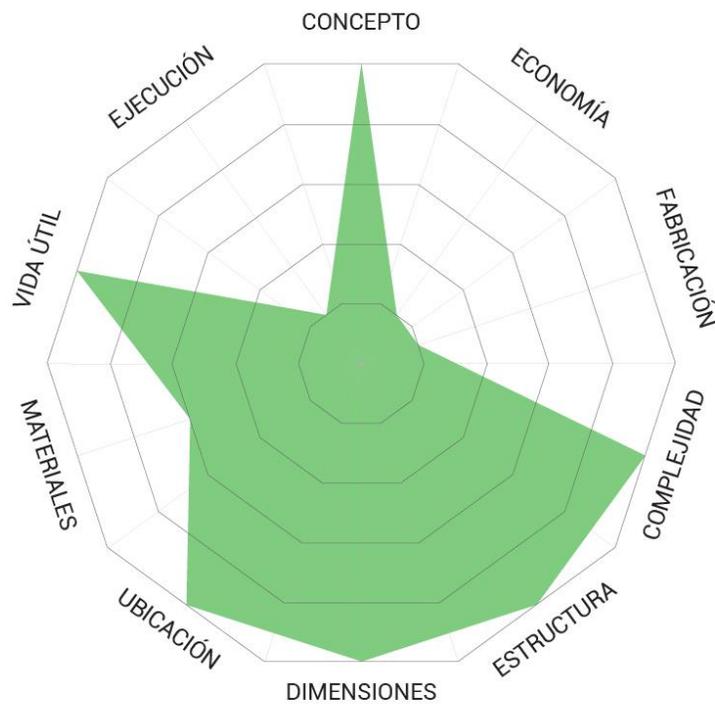


Figura 81: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 5, 13 y 1, y plasmada en tres láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Al consultar los resultados de la evaluación sobre el presente proyecto y como se puede observar en el gráfico 10, se visualiza que las cualidades positivas se valúan con el concepto y complejidad, mientras que la estructura, dimensiones, ubicación y vida útil se consideran aspectos también positivos, hay que aclarar que los resultados de estas categorías se posicionan en el rango positivo por una ligera diferencia de votos -ya que existieron perspectivas diferidas-, por último, la economía, fabricación y vida útil se posicionan en el rango más negativo debido a las carencias que presentó el proyecto en su momento. A esto hay que agregar que el 61.3% de las valuaciones indicaron que el mejor acercamiento para la materialización del proyecto sería por medio de la opción de *Prototipo o maqueta (1:2 - 1:50)*, mientras que un 35.5% de las valuaciones indicaron la opción de *No es viable, mantener una exploración y definición en modalidad virtual*. Mientras este prototipo muestra ciertas carencias, se puede interpretar que parte de los motivos que pudieron haber afectado el desarrollo de la propuesta fue el posible contraste de ideas al momento de la unificación de equipos debido a naturalezas de proyectos distintas, uno de los riesgos que siempre existe al momento de unificar ideas.



EQUIPO 5, 13 y 1

Gráfico 10: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo *Crisálida*.
 Fuente: elaboración propia.

6.3.5. Propuesta por equipos 7 y 15: *Expansión Sonora*

Expansión Sonora parte del objetivo de generar un espacio de relajación a través del manejo de los sonidos armónicos, siendo la forma en función del aspecto sonoro el principal foco de atención del presente prototipo como se puede observar en las figuras 84 y 85. Cabe resaltar que, al igual como lo fue para el prototipo *Bio-Sa* en el que se manejó un complemento de Grasshopper adicional (o plug-in) para generar una optimización topológica, para el caso de esta propuesta se manejó un complemento con el fin de generar una optimización sonora a través de la forma. Para la propuesta de los materiales se planteó el manejo de madera Triplay, OSB o MDF para la envolvente de una estructura a partir de perfiles metálicos; asimismo se estimó un costo de \$5250 mxn. para la envolvente de madera.

Expansión sonora
 Crear un espacio sensorial de relajación, haciendo especial énfasis en la experiencia auditiva, para lo cual se diseñará un espacio que genere sonidos armónicos los cuales serán amplificadas por estructuras con materiales y geometrías óptimas.

Ubicación
 Área de árboles detrás de la cafetería de ingeniería.
 Zona verde frente a la biblioteca central de la UAQ.
 Estas zonas son recomendadas para analizar la evolución del proyecto con el usuario, y analizando los resultados, puede reproducirse en otras áreas dentro de la UAQ.

Actividades de los usuarios
 Zona de descanso
 Punto de reunión
 Socializar
 Punto de referencia
 Actividades multidisciplinarias

Tiempo de construcción
 El mayor tiempo se lo llevará las uniones y la habilidad de corte del material por lo que nos tomará entre 4 personas un tiempo aproximado de 15 días a un mes construido ya que el tiempo disponible entre todos para elaborarlo solo se considerará el horario del curso.

Intervenciones preliminares
 Colocar los bastones por unos días para ver si estos son molestos en la zona elegida.
 Limpieza y nivelación de la zona designada del proyecto.

Dimensiones

Modelo 1	Modelo 2
x=3	x=6
y=4.7	y=5.3
z=4.7	z=4.5

Opción con mejor resultados sonoros

Opción con mayor facilidad de construcción

Materiales y Presupuesto
 Madera
 Triplay cob 12mm, \$350 por lámina, 1.22x2.44
 MDF marca trupan 12 mm, \$339.25 por lámina, 1.22x2.44
 MDF marca trupan 12 mm, \$498.67 por lámina, 1.83x2.44
 Se utilizarán alrededor de 15 láminas por lo que nos da un resultado de 5,250 en la madera más el costo de los tubos metálicos.

Vida útil
Madera
 Los aglomerados de este tipo no son muy resistentes al agua, por lo que su vida útil sería algo corta, este material se empezará a deformar con la temporada de lluvias. Se lo puede dar tratamiento para alargar la vida útil del proyecto como es pintura o impermeabilizante, así como programar mantenimientos regulares.

Tecnologías y herramientas
 Redireccionamiento del sonido mediante un amplificador

Software
 Grasshopper, Archicad

Hardware
 Sierras, lijás, router CNC, taladros, cepillo, compresora, prensas, etc.

Figura 74 15
 Integrantes:
 Cristian Aguilar Nájera
 Giovanni Chaves
 Steven Campos
 Daniel Aguilar Salazar

Figura 84: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 7 y 15, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)



Figura 85: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 7 y 15, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Al consultar los resultados de la evaluación que se resumen en el gráfico 11, se observa que algunas características que destacan son el concepto junto a la ubicación -ya que el proyecto se planteó posicionarse en un área verde favorable de la UAQ-, seguido de la complejidad y dimensiones como características valuadas en un rango positivo, mientras que todas las demás cualidades se mantuvieron en un rango intermedio o neutro. Cabe agregar que el 67.7% de las valuaciones optaron por el acercamiento de *Prototipo o maqueta (1:2 - 1:50)* como el adecuado para la materialización de esta propuesta, junto a un empate de votos del 16.1% dividido en las dos otras opciones.

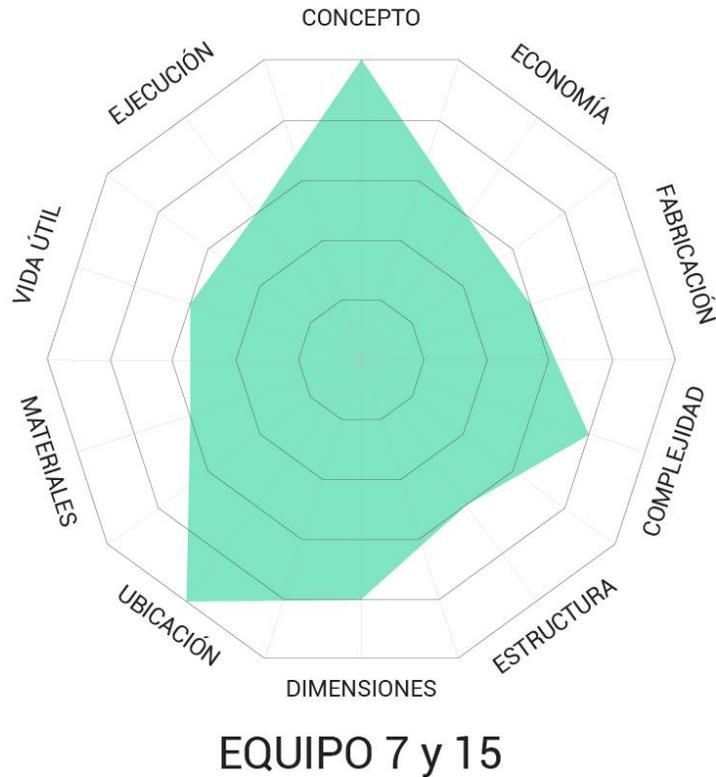


Gráfico 11: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo Expansión Sonora. Fuente: elaboración propia.

6.3.6. Propuesta por equipo 8: Lámpara TLETL

El prototipo *Lámpara TLETL* nació de la conceptualización del fuego en Náhuatl, buscando expresiones formales que transmitieran la calidez -en su aspecto visual- por medio de la volumetría, temperatura de color, luminosidad entre otro juego de cualidades que conforman el concepto que se puede apreciar en las figuras 86 y 87. Este prototipo cuenta con la ventaja de que la respectiva maqueta se materializó en su escala real, permitiendo así percibir la oportunidad de generar ajustes al algoritmo para lograr una mayor profundización en su juego formal, y finalmente proceder con la materialización definitiva en impresión 3D, permitiendo una fabricación directa del resultado final. Para la consideración de materiales y el costo, se contemplaron opciones a base del uso de tela, tubos de aluminio, cables, clavijas, interruptor, bombilla, cristal, entre diversas herramientas generando un rango de costo entre los \$350 y \$2,850 mxn.

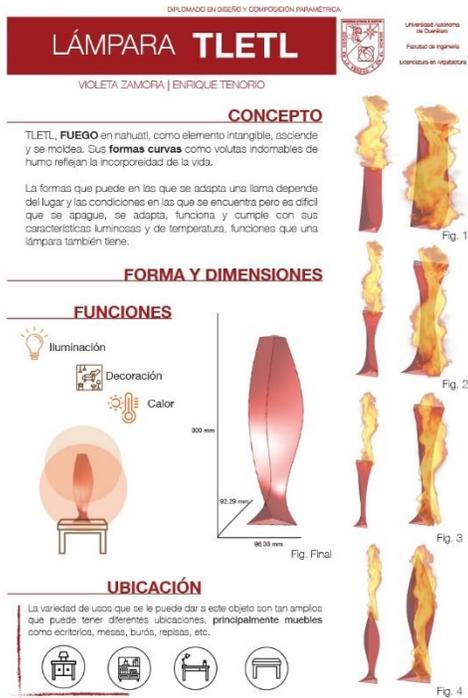


Figura 86: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 8, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

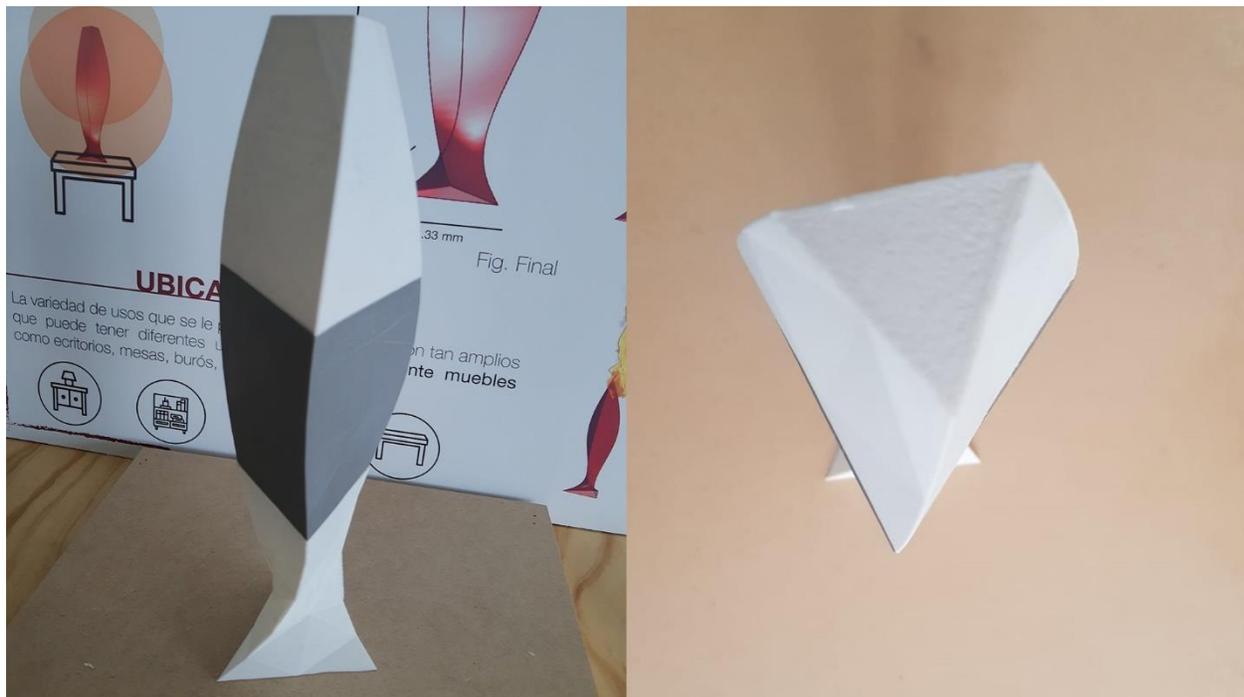


Figura 87: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 8, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Cabe resaltar que existieron opiniones diferidas de parte de los alumnos y docentes; mientras que algunas perspectivas afirmaron que el proyecto puede ser un candidato idóneo para la etapa final, otras expresaron que la propuesta no dispone de un grado de complejidad suficiente para ser elegido. Al consultar los resultados de la evaluación las cuales se aprecian en el gráfico 12, algunas cualidades que resaltan son la economía, fabricación, dimensiones, ubicación y adaptación ejecutiva; otros aspectos se mantuvieron en un rango relativamente positivo, mientras que la calidad en la complejidad presentó una valuación neutral, lo cual se puede comprender ya que la composición formal del prototipo se mantiene en un nivel básico. A esto hay que agregar que, en la valuación sobre el mejor acercamiento para la materialización del prototipo, 93.5% de las respuestas afirmaron la opción de *Escala Real (1:1)*.

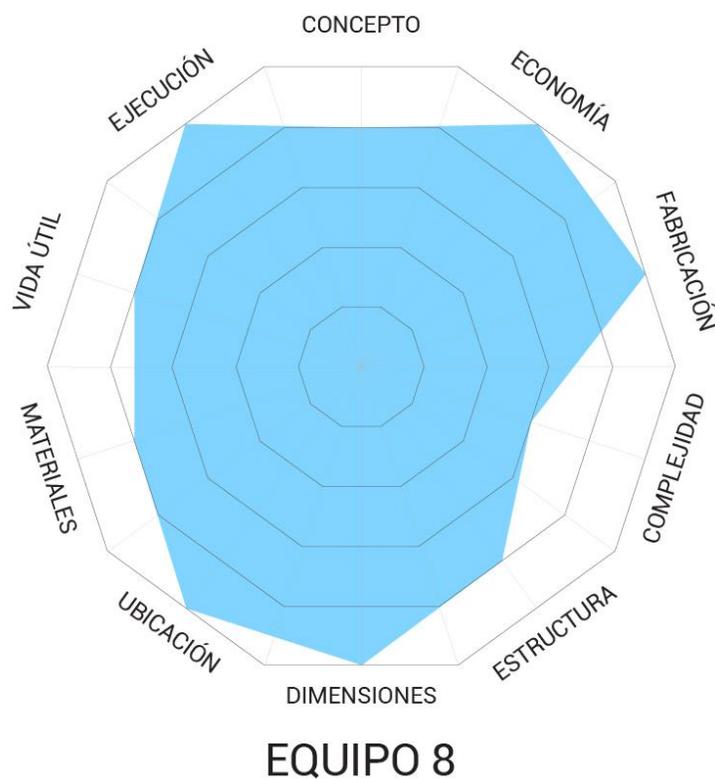


Gráfico 12: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo Lámpara TLETL. Fuente: elaboración propia.

6.3.7. Propuesta por equipo 9 y 11: CUBIERTA SIN

CUBIERTA SIN se origina a partir de la sinestesia como base de su composición, explorando la abstracción de las curvas senoidales de la naturaleza para la generación de una superficie que envuelve un espacio como se puede apreciar en las figuras 88 y 89. Cabe resaltar que una de las cualidades del proyecto destaca con la implementación del análisis solar para mayor justificación en la elección de una iteración geométrica, asimismo se exploraron diversas composiciones en función de diferentes paletas de colores. Para la asignación de materiales se proponen el manejo del triplay, tensores y diversos textiles arrojando un costo total para el proyecto entre los \$7680 y los \$9,258 mxn. en función del tipo de madera a manejar.

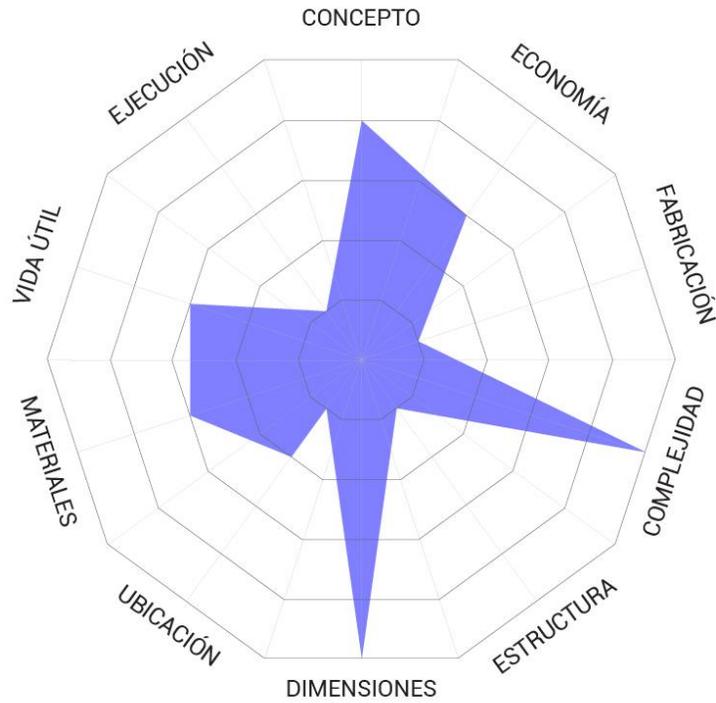


Figura 88: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 9 y 11, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)



Figura 89: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 9 y 11, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Al consultar las valuaciones de este prototipo, en el gráfico 13 se aprecian contrastes en ciertas cualidades; mientras que algunos aspectos como el concepto, complejidad y dimensiones obtienen una valoración positiva, otros como la economía, materiales y vida útil mantienen neutralidad, finalmente cualidades como la fabricación, estructura y adaptación ejecutiva presentan una visión negativa. Hay que agregar que el 51.6% de las valuaciones indicaron la opción de *Prototipo o maqueta (1:2 - 1:50)* como el acercamiento ideal para la materialización del prototipo, mientras que un 25.8% de las respuestas indicó la opción de *No es viable, mantener una exploración y definición en modalidad virtual*.



EQUIPO 9 y 11

Gráfico 13: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo CUBIERTA SIN. Fuente: elaboración propia.

6.3.8. Propuesta por equipo 12: ANTICUBIERTA

El proyecto denominado como *ANTICUBIERTA* nace a partir de la necesidad de generar un espacio contemplativo e intervenido por un juego orgánico íntegro de iluminación que se asemeja al vuelo de las luciérnagas de noche, concepto que se aprecia en las figuras 90 y 91. Este proyecto tuvo una evolución a lo largo de sus respectivas revisiones, ya que inicialmente se planteó como un elemento elevado, pero más adelante se contempló invertir el componente con el fin de manejarlo a nivel del piso; para la propuesta de materiales se planteó el manejo de tubería PVC, tarimas de Triplay junto al manejo de una instalación eléctrica a base de luminarias LED. Asimismo, este prototipo dispone de la ventaja de generar diversas exploraciones e iteraciones que permiten cierto grado de flexibilidad para su ajuste. Una cualidad que no fue conveniente se manifestó con la discrepancia en la expresión volumétrica a lo explicado al momento de la presentación, ya que la propuesta no concuerda a nivel geométrico ciertos de los aspectos planteados de modo conceptual.



Figura 90: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 12, y plasmada en dos láminas de presentación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)



Figura 91: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 12, y materializada a escala por medio de impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Al consultar la valuación de las cualidades del prototipo en el gráfico 14, se posicionan en el rango aspectos como el concepto, dimensiones y ubicación, seguido de todas las demás cualidades dentro del rango positivo a excepción de la propuesta material -ya que una de las observaciones principales fue la necesidad de evitar el uso de tarimas ya que impactará en la calidad visual-. A esto hay que agregar que, al consultar el mejor acercamiento para la materialización de la propuesta, el 80.6% de las valuaciones indicaron la opción de *Escala Real (1:1)*.

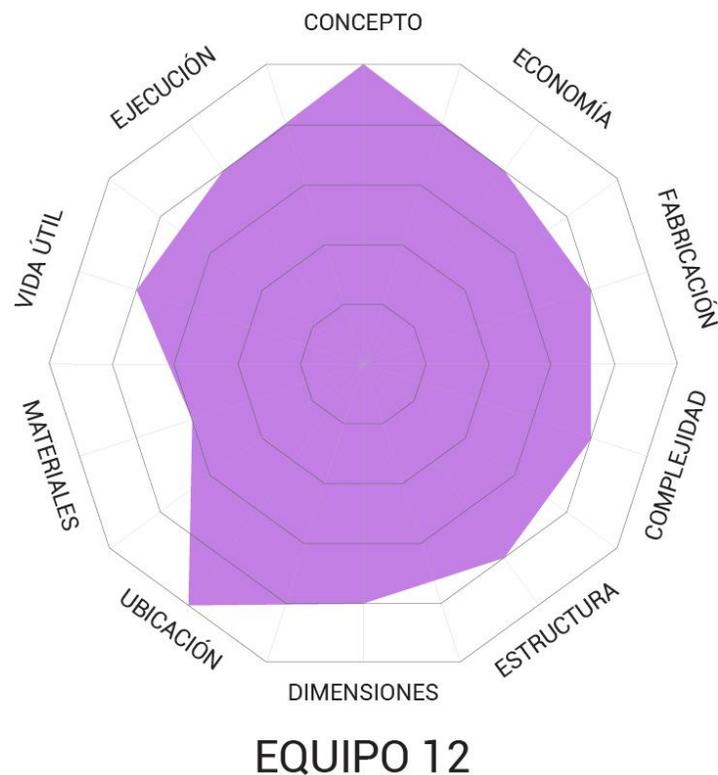


Gráfico 14: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo ANTICUBIERTA. Fuente: elaboración propia.

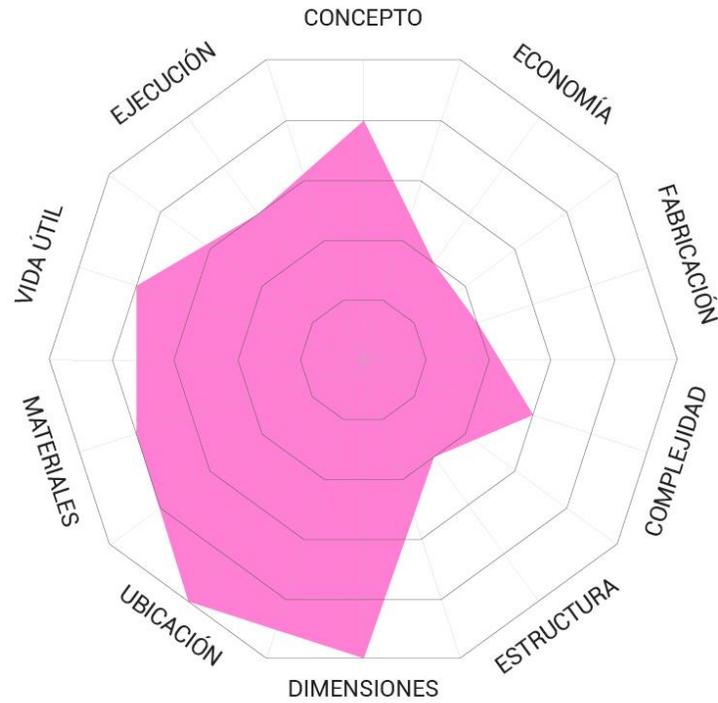
6.3.9. Propuesta por equipo 14: OLA UAQ

El proyecto denominado como *OLA UAQ* se genera con la finalidad de intervenir uno de los accesos al plantel universitario abstrayendo las cualidades naturales de una ola marina y plasmándolas en una atmósfera, que incluye cualidades como movimiento,



Figura 93: Propuesta del proyecto diseñada por el equipo 14, y materializada a escala en impresión 3D. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Con respecto a la valuación de las cualidades del proyecto que se visualizan en el gráfico 15, resaltan en el rango positivo las dimensiones, ubicación, seguido del concepto, materiales y vida útil, se posicionan en un nivel neutral la complejidad y adaptación ejecutiva mientras que la economía, fabricación y estructura se valúan en una categoría negativa. Al consultar el acercamiento para la materialización del proyecto, el 77.4% de las valuaciones indicó la opción de *Prototipo o maqueta (1:2 - 1:50)* como la opción más viable.



EQUIPO 14

Gráfico 15: Resultados destacados sobre la valuación de las características del prototipo OLA UAQ.
Fuente: elaboración propia.

Como se pudo observar en las valuaciones anteriores, todas las propuestas además de haber sido conformadas por composiciones geométricas de naturaleza variada también disponían de cualidades que facilitaron y afectaron en paralelo el acercamiento pragmático idóneo que se podía tener en la etapa final del diplomado; ya que algunas propuestas presentaban el potencial a ser materializadas a escala real en un periodo de dos semanas, otras requerían de un acercamiento con la construcción a escala real de una parcialidad o su fabricación en escala reducida -a modo de una maqueta-, y otras al no disponer de suficientes cualidades permitían su continuación en medios digitales.

Mientras que la elección del proyecto se describe a detalle a continuación, se puede observar previamente que los prototipos designados tenían el común de que casi todas sus cualidades quedaron en el rango máximo o del lado positivo, como lo fueron los equipos 3, 12, 8 y 14 cuyas gráficas se visualizan más abiertas y estables -dicho de un modo- a diferencia de otras propuestas con gráficos que presentaron picos marcados, comparación que se puede apreciar mejor en el gráfico 16.

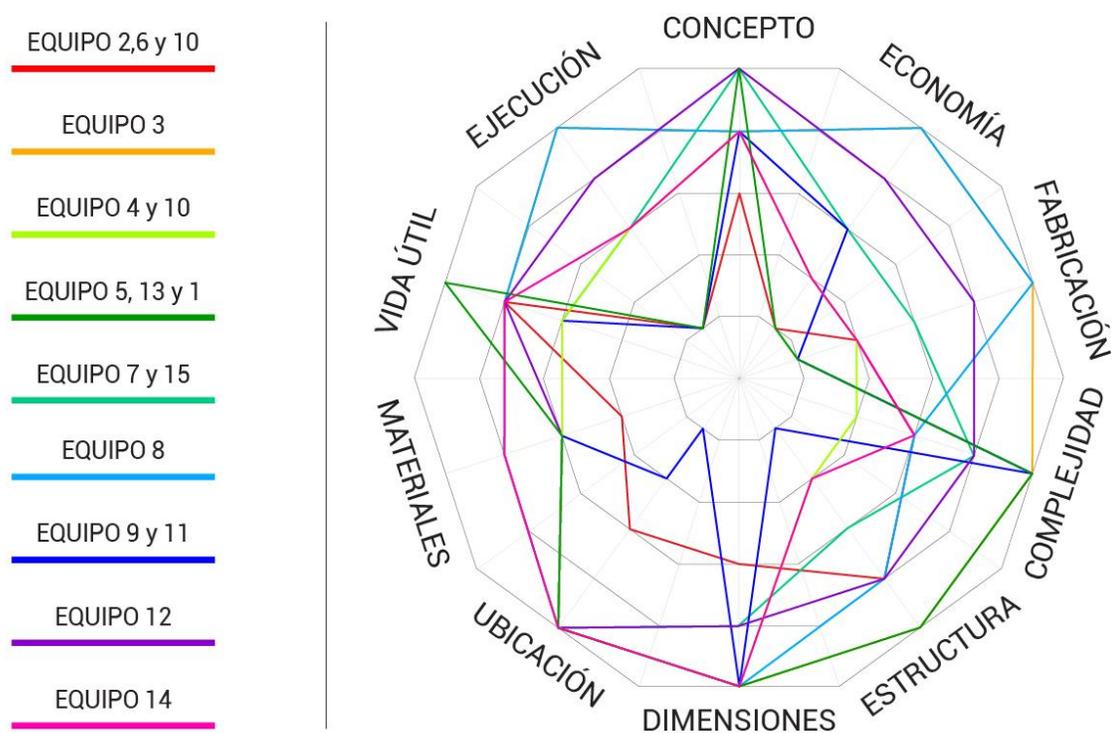


Gráfico 16: Comparativa de características de todos los proyectos, en el que se puede observar que cada propuesta destaca mejor en ciertas cualidades a otras. Fuente: elaboración propia.

6.4. Selección de prototipo final y rangos económicos

Una vez expuestas, revisadas y valuadas las diversas propuestas de los prototipos tanto por los alumnos y docentes, en la misma encuesta de valuación se generaron dos consultas adicionales. La primera instrucción fue que, en función de las cualidades previamente descritas y valuadas de cada prototipo, se eligiera el ideal para su respectivo seguimiento y fabricación a escala real a lo largo del último módulo; y la segunda, trató de modo abierto el rango económico ideal que cada alumno estaría dispuesto en aportar para la compra de materiales, contratación de servicios y demás servicios implícitos en la fabricación del proyecto final a escala. Hay que aclarar que, desde inicios del diplomado se concientizó y se hizo la mención sobre la posibilidad de un aporte económico adicional de parte de los alumnos para la construcción y materialización del

proyecto final, esto con el fin de evitar imprevistos y cargas adicionales en el último bloque.

Al observar los resultados de la elección de prototipo en el gráfico 17, resaltó en primera instancia la propuesta por el equipo 3 bajo el nombre de *Bio-Sa* como el candidato más ideal para su respectiva materialización, en segundo lugar, el prototipo del equipo 12 bajo el nombre de *Anticubierta*, y como tercera posibilidad, el trabajo del equipo 14 denominado *OLA UAQ*.

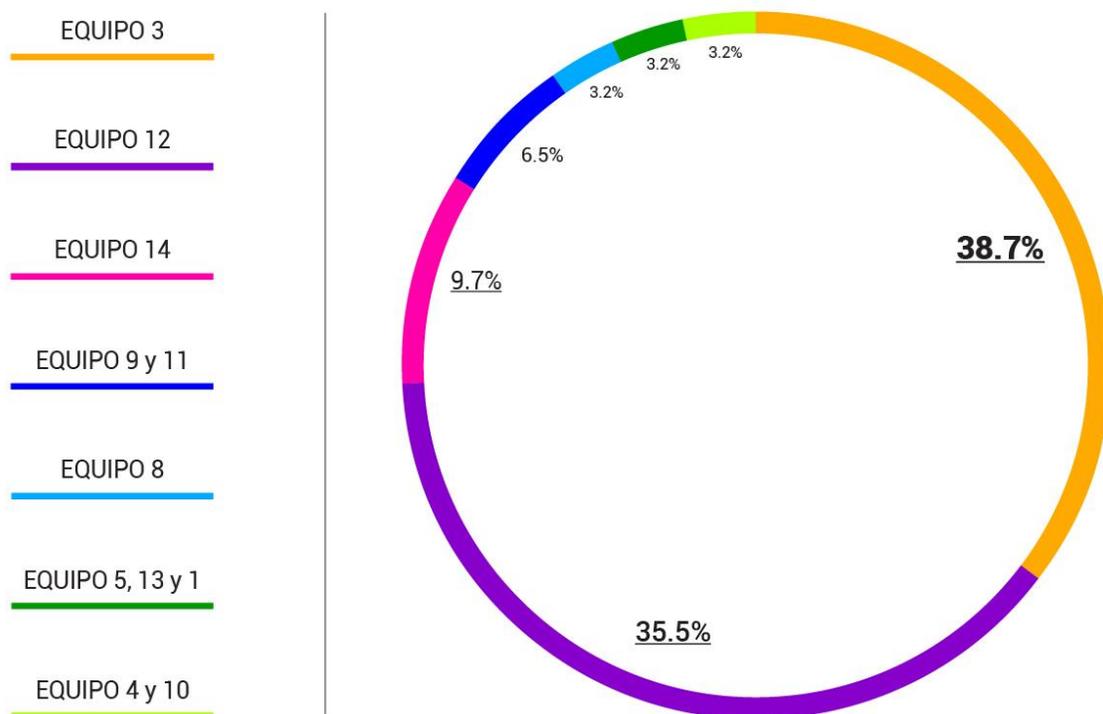


Gráfico 17: Resultados de elección de proyecto para fabricación. Fuente: elaboración propia.

Cuando se afirmó la elección del proyecto *Bio-Sa* con los alumnos, se generó un diálogo en el que los propios estudiantes propusieron -y esto por un lado debido a que el grupo del diplomado era amplio- la posibilidad de fabricar un segundo proyecto, esto dividido en dos equipos de trabajo con el fin de no únicamente desarrollar un mueble de

geometrías complejas, mas también con la finalidad de explorar la aplicación del diseño paramétrico en algo más como la generación de una atmósfera arquitectónica.

Hay que aclarar que la construcción de un segundo proyecto implicaba una mayor demanda económica y laboral a lo esperado de parte de los propios estudiantes, docentes y administrativos implícitos, y fue un punto delicado que se trató a fondo con los alumnos; a lo cual se observó que la motivación para desarrollar presente propuesta mostró cualidades positivas, por lo que una vez concientizados los participantes de las responsabilidades implicadas para la construcción de un segundo proyecto, se procedió con el trabajo de dos y no únicamente una experimentación a escala, como se planeó originalmente.

Al tocar el punto del rango económico para el proyecto, hay que primeramente recordar que la UAQ es una institución pública, y abarca un sector socioeconómico distinto al posicionamiento general de estudiantes de un sector privado como lo puede ser el ITESM, motivo por el cual se manejó la consulta de modo abierto para conocer el rango económico adecuado. Hay que agregar también que el docente responsable de los módulos 1 y 5 cuenta con la experiencia de haber fabricado proyectos experimentales de este tipo en sectores educacionales privados, y compartió la perspectiva aproximada -hay que aclarar que todo esto se comentó de modo abierto- del rango económico que se tiene, al posicionarse los proyectos de este sector entre los -aproximadamente- \$40,000 y \$80,000 mxn. por proyecto, en el que los alumnos aportaban -aproximadamente- entre los \$2000 a \$5000 cada uno, a diferencia del rango económico en el que se estaba situando la UAQ con la recopilación de entre los \$5,000 a \$10,000 por proyecto, junto a una contribución aproximada de \$500 por alumno.

Al observar los resultados en el gráfico 18 sobre la posible contribución económica que los participantes podían aportar para la construcción del proyecto, se puede visualizar que la mayoría de las respuestas se aproximan al rango de los \$500 mxn. por alumno, seguido de un posicionamiento mayoritario entre los \$200 a los \$1000, con algunas respuestas que se sitúan por encima de los \$1000 por estudiante. Con el rango presupuestal de aproximadamente \$15,000 en total -o \$7,500 para cada proyecto- que

se tenía en mente, se procedió a la planeación y organización de los trabajos referentes a la construcción de los dos prototipos.

Posicionamiento de rango económico

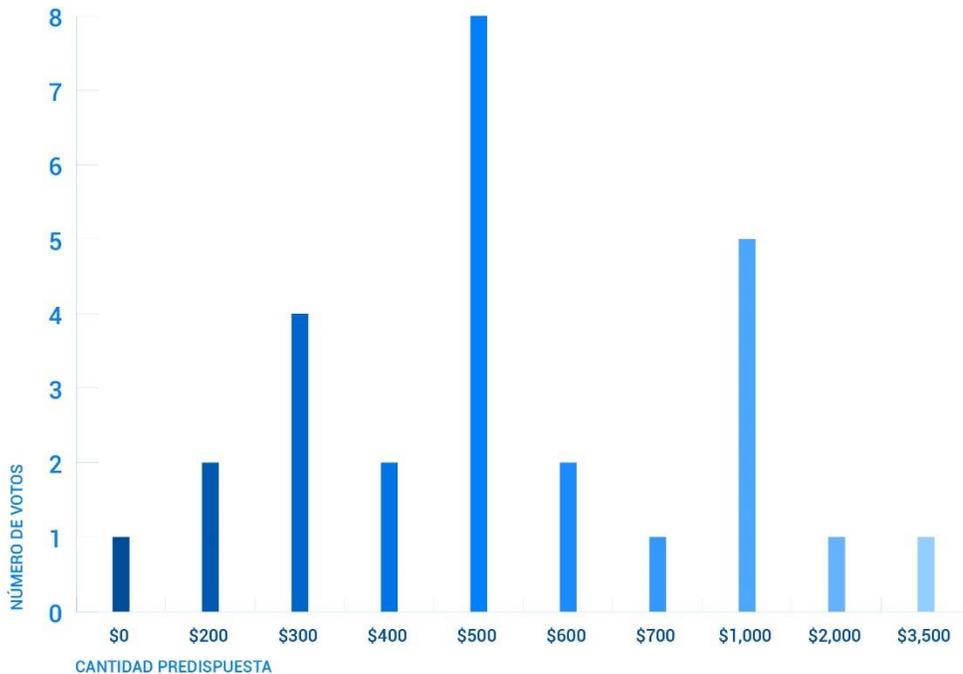


Gráfico 18: Resultados de consulta referente al monto adecuado de contribución económica por alumno para la materialización del proyecto. Fuente: elaboración propia.

6.5. Prototipos fabricados

Una vez descritos los prototipos preliminares y conocidas las propuestas seleccionadas junto a los rangos económicos predispuestos por los alumnos para la construcción de los proyectos, a continuación, se describen los detalles más relevantes del proceso de construcción de los proyectos junto a los resultados logrados.

6.5.1. Proyecto Bio-Sa

Seleccionada la propuesta, a lo largo de las 2 semanas correspondientes del módulo 5 se desarrollaron -en cercanía y revisión constante de los docentes- los procesos relacionados a la fabricación del mueble; mientras que fueron varias ideas para la elección del principal sistema de fabricación a emplear, se tomó finalmente la decisión de manejar el corte en router CNC de placas de madera para fabricar las diversas piezas requeridas, para que éstas posteriormente se lijaran, barnizaran y ensamblaran por los integrantes del equipo. Hay que agregar que el equipo *Bio-Sa* se conformó por 14 integrantes liderados por los alumnos del equipo 3 responsables del diseño del prototipo original; los estudiantes adoptaron distintas responsabilidades, desde la compra del material, trabajos administrativos, ajustes del archivo, labores de fabricación, entre diversas otras implícitas para la construcción del proyecto.

Se dio inicio con las adaptaciones necesarias tanto al modelo tridimensional y el algoritmo, para que la forma de la propuesta original observada en la figura 94 evolucionara en algo más funcional y completo como se visualiza en la figura 95, por otro lado, el algoritmo de la figura 96 permitiera al mismo tiempo el respectivo despiece y numeración de las diferentes piezas que conformaron el modelo final, para que éstas pudieran ser posteriormente cortadas y ensambladas.

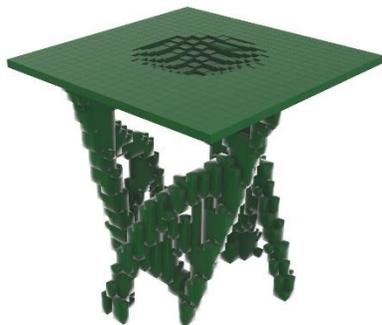


Figura 94: Propuesta original del proyecto, desarrollada por los integrantes del equipo 3. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

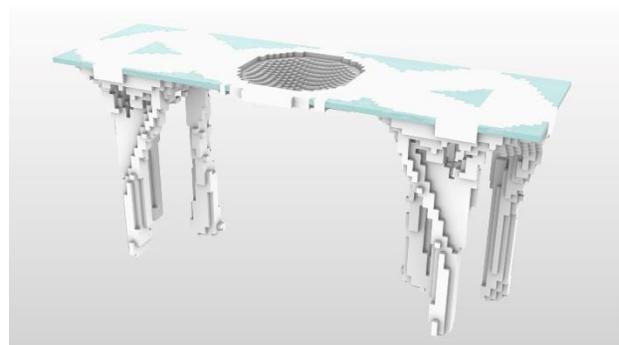


Figura 95: Propuesta adaptada del proyecto antes de su fabricación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

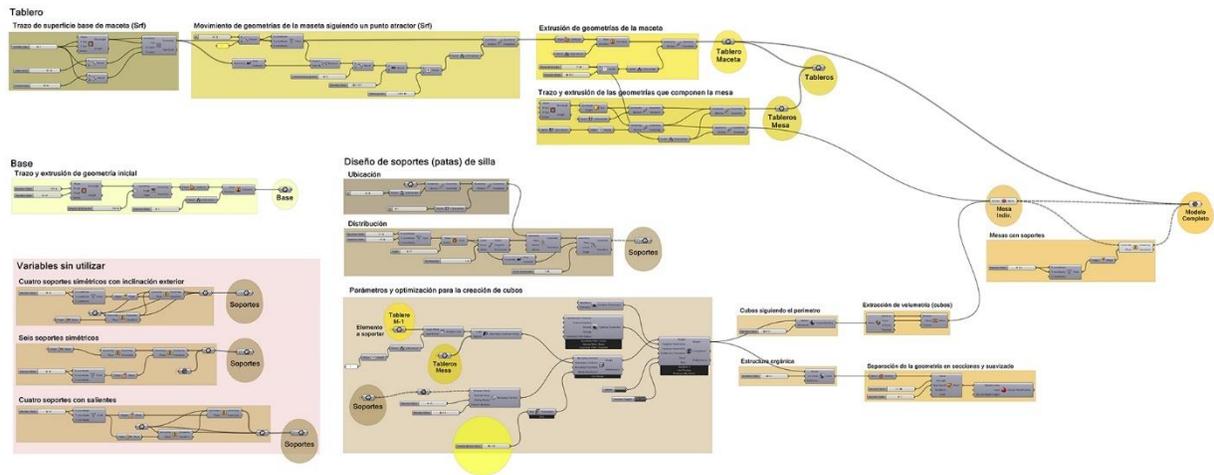


Figura 96: Una de las versiones del algoritmo desarrollado por el equipo Bio-Sa, el cual generó el mueble paramétrico junto a las piezas requeridas para su respectiva fabricación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Concluidas las adaptaciones ejecutivas a los archivos correspondientes del proyecto, los integrantes realizaron la compra del material y mandaron a cortar a router CNC las piezas del mueble; hay que recordar que uno de los motivos por los cuales los costos del proyecto se redujeron notablemente fue gracias a que la institución universitaria absorbió el precio implícito en la fabricación digital de los proyectos con la prestación de los equipos de corte e infraestructura del PROTOLAB y CEDIT.

Una vez cortadas las partes, los alumnos dieron inicio a los trabajos correspondientes de lijado, ensamblado, pegado, prensado, barnizado, entre todo tipo de procesos adicionales implícitos para la fabricación del mueble, algunos de los cuales se pueden visualizar en las figuras 97 y 98.



Figura 97: Las piezas cortadas en router CNC además requirieron posteriormente ser separadas por medio de cortes adicionales de las placas de madera, y cuidadosamente agrupadas para no generar confusión en su posterior ensamble. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)



Figura 98: Una vez separadas e identificadas las piezas, se lijaron, pegaron y prensaron en módulos para posteriormente conformar bloques mayores del mueble. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Una vez trabajadas y unidas las piezas individuales que conformaron los bloques del proyecto, se llevaron a cabo las tareas relacionadas a los acabados junto a detalles adicionales del mueble para su respectiva presentación final, logrando así el resultado visualizado en la figura 99.



Figura 99: Resultado final del proyecto *Bio-Sa*. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Adicionalmente, en la columna izquierda de la tabla 02 se observan las aportaciones económicas que tanto los integrantes del equipo y el investigador destinaron para el proyecto, dando así una suma total de \$8,819 mxn., y en la columna derecha se pueden observar los gastos implícitos para la compra de material y las herramientas necesarias para la fabricación del proyecto, arrojando un gasto total de \$8,809 mxn.

Finalmente, en relación al ciclo de vida del proyecto, una vez terminadas y finalizadas las presentaciones de los trabajos los integrantes del equipo *Bio-Sa* tomaron la decisión de realizar el donativo del proyecto a la coordinación de la licenciatura en arquitectura, permitiendo que el mueble tuviera un uso continuo en los diversos espacios que conforman la institución universitaria.

CONTROL DE GASTOS // EQUIPO BIO-SA			
INTEGRANTES DEL EQUIPO	APORTE INICIAL	MATERIAL COMPRADO	COSTO
Integrante 1	\$540.69	Placas de madera	\$5,224.64
Integrante 2	\$540.69	Foamboard	\$206.00
Integrante 3	\$540.69	Ferretería	\$360.00
Integrante 4	\$540.69	Barniz y solvente	\$686.20
Integrante 5	\$540.69	Tuercas y tornillos	\$39.11
Integrante 6	\$540.69	Resina, desmoldante y catalizador	\$559.50
Integrante 7	\$540.69	Broca Carburo	\$1,734.22
Integrante 8	\$540.69		
Integrante 9	\$540.69	TOTAL	\$8,809.67
Integrante 10	\$540.69		
Integrante 11	\$540.69		
Integrante 12	\$540.69		
Integrante 13	\$540.69		
Integrante 14	\$540.69		
Aporte del investigador	\$1,250.00		
TOTAL	\$8,819.66		

Tabla 2: Control de aportaciones y gastos implícitos para la fabricación del proyecto *Bio-Sa*. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

6.5.2. Proyecto Anticubierta

A diferencia del mueble *Bio-Sa*, este proyecto tuvo una adaptación ejecutiva más considerada, ya que el prototipo presentaba una fortaleza en su definición conceptual mas las consideraciones en su fabricación -sobre todo el cimiento- se vieron significativamente modificadas con el fin de aumentar cualidades estéticas y formales del proyecto, y permitir a los alumnos una experiencia más enriquecedora. A lo cual los docentes llevaron varias sesiones de asesoría y consulta en cercanía con los alumnos para evolucionar la propuesta conceptual observada en la figura 100 en un resultado más definido al visualizado en la figura 101 generado por medio del algoritmo en la figura 102. Hay que agregar que el equipo *Anticubierta* se conformó por 16 integrantes liderados por los alumnos del equipo 12 quienes fueron responsables por el diseño del prototipo original, y del mismo modo como lo fue en el otro equipo, se distribuyeron las diversas responsabilidades implícitas en el proceso de fabricación entre todos los integrantes.

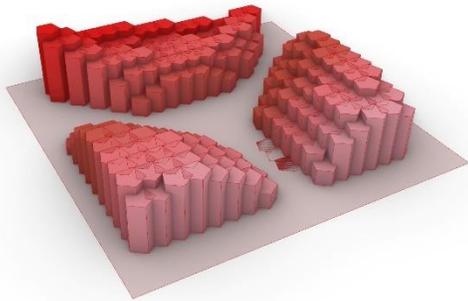


Figura 100: Propuesta conceptual original del proyecto, desarrollada por los integrantes del equipo 12. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

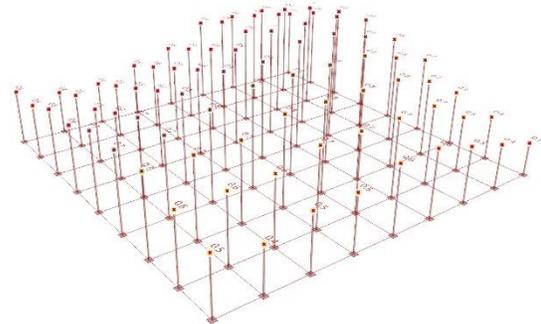


Figura 101: Propuesta adaptada del proyecto antes de su fabricación. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

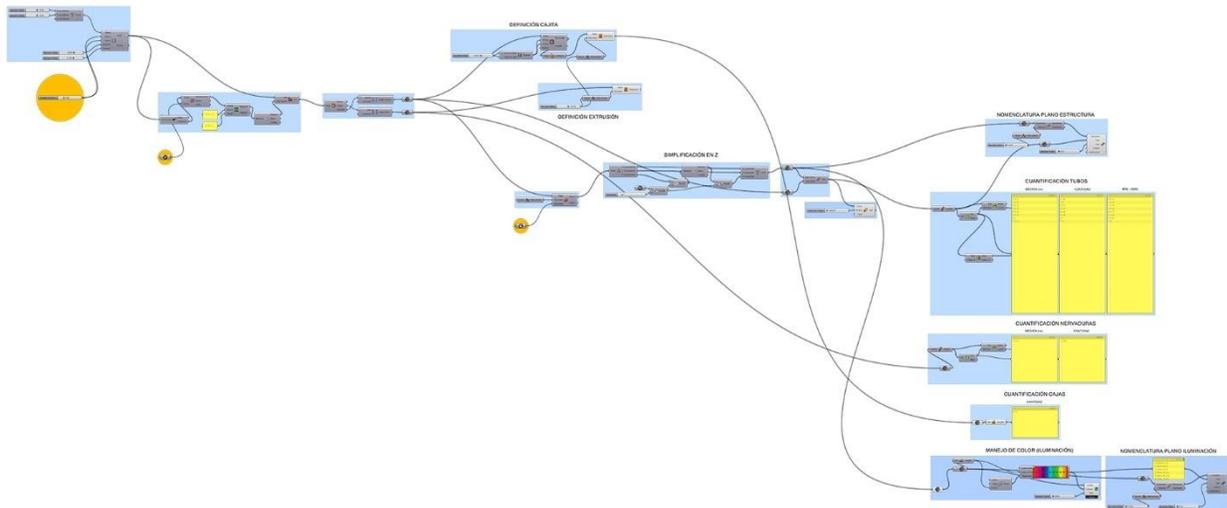


Figura 102: Una de las versiones del algoritmo desarrollado para la fabricación del proyecto Anticubierto, hay que agregar que se programó un algoritmo adicional para el despiece de la base para su respectivo corte a laser. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Una vez realizadas las consideraciones ejecutivas necesarias tanto al proyecto como a los archivos del modelo y algoritmo, se tomó la decisión de fabricar la base del proyecto en corte a laser de piezas en placas de madera MDF, el manejo de tubos de hierro dúctil para conformar los elementos verticales sostenidos por la base, el uso de bolas de ping pong blancas para permitir la difusión de la luz emitida por los focos LEDs que se pretendieron instalar en la parte superior de los ductos, para que el proyecto de contemplación cobrara mayor vida de noche que de día. Teniendo claros los alcances del prototipo, los integrantes realizaron la compra del material y se mandaron a cortar en laser las placas de madera; hay que aclarar que al igual como lo fue para el equipo *Bio-Sa*, la institución universitaria apoyó del mismo modo con la prestación del servicio de corte a laser y la infraestructura del CEDIT.

Una vez cortadas las partes, los alumnos dieron inicio a los trabajos correspondientes al barnizado y ensamblado de las piezas de la base, el corte de los ductos y pelotas de ping

pong que conformarían los elementos verticales, el cableado para la instalación eléctrica, entre todos los procesos implícitos para la fabricación del proyecto, algunos de los cuales se pueden visualizar en las figuras 103 y 104.



Figura 103: Las piezas de madera cortadas en laser disponían de la ventaja de ser ensamblables entre sí, permitiendo así un flujo de trabajo más rápido para el proyecto. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

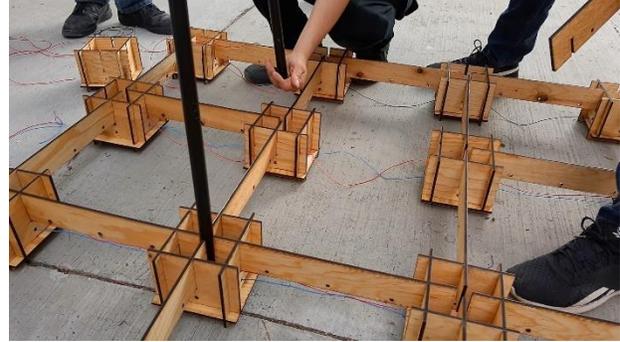


Figura 104: Mientras que algunas piezas seguían todavía en proceso de fabricación, las ya terminadas permitían los avances en el ensamble del proyecto: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Hay que aclarar que la instalación eléctrica del proyecto no se completó a tiempo, por lo que *Anticubierta* se presentó únicamente en su aspecto formal -además de que la conclusión del diplomado se llevó a cabo de día, lo cual de todas formas no habría permitido la contemplación del prototipo en su totalidad-, sin embargo, posteriormente se tomó la decisión -y por iniciativa de parte de los alumnos- en otro día de completar el proceso restante con el fin de conocer el comportamiento del proyecto de noche, logrando así el resultado visualizado en la figura 105.



Figura 105: Resultado final del proyecto Anticubierta. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Adicionalmente, en la columna izquierda de la tabla 03 se pueden consultar las aportaciones económicas que tanto los integrantes del equipo y el investigador destinaron para el proyecto, dando así una suma total de \$9,250 mxn., y en la columna derecha se pueden observar los gastos implícitos para la compra de material y herramientas necesarias para la fabricación del proyecto junto a la contratación del servicio para la respectiva instalación eléctrica del proyecto, arrojando un gasto total de \$8,491 mxn.; hay que aclarar que la diferencia entre el aporte inicial y el gasto final se retornó equitativamente entre los integrantes del equipo.

CONTROL DE GASTOS // EQUIPO ANTICUBIERTA			
INTEGRANTES DEL EQUIPO	APORTE INICIAL	MATERIAL COMPRADO	COSTO
Integrante 1	\$500.00	Madera Triplay	\$2,070.00
Integrante 2	\$500.00	Tubos HD	\$556.00
Integrante 3	\$500.00	Pelotas de ping pong	\$594.00
Integrante 4	\$500.00	Gasto en tienda Lumen	\$600.50
Integrante 5	\$500.00	Gastos de ferretería	\$222.00
Integrante 6	\$500.00	Laca y brochas	\$457.00
Integrante 7	\$500.00	Cinchos	\$20.00
Integrante 8	\$500.00	Tijeras PVC	\$190.00
Integrante 9	\$500.00	Pintura	\$224.00
Integrante 10	\$500.00	Componentes Eléctricos	\$1,558.00
Integrante 11	\$500.00	Instalación Eléctrica	\$2,000.00
Integrante 12	\$500.00		
Integrante 13	\$500.00	TOTAL	\$8,491.50
Integrante 14	\$500.00		
Integrante 15	\$500.00		
Integrante 16	\$500.00		
Aporte del investigador	\$1,250.00		
TOTAL	\$9,250.00		

Tabla 3: Control de gastos para la fabricación de los proyectos *Bio-Sa* y *Anticubierta*. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

Finalmente, en relación al ciclo de vida del proyecto una vez terminadas y finalizadas las presentaciones de los trabajos y a diferencia del equipo *Bio-Sa* en el que el proyecto tuvo una consideración positiva para la etapa final de su ciclo de vida, en el caso de *Anticubierta* se tomaron en un inicio algunas consideraciones para que los integrantes del equipo desarmaran y se llevaran el proyecto pero éste finalmente sufrió de un abandono por aproximadamente 6 meses, y posteriormente la coordinación de la licenciatura en arquitectura tomó la decisión de desarmar el proyecto en sus diversos componentes para reciclarlo, como se puede observar en la figura 106.



Figura 106: A diferencia del proyecto Bio-Sa, Anticubierta sufrió de un abandono por los integrantes del equipo y finalmente se recicló por la coordinación de la licenciatura en arquitectura. Fuente: Diplomado en diseño y composición paramétrica (2021)

6.6. Evaluación grupo experimental y control

Concluidas las actividades relativas al diplomado, se procedió a destinar un periodo de espera de aproximadamente 4 meses para que los participantes del diplomado procesaran lo aprendido e incluso lo implementaran en su entorno profesional; una vez terminado este plazo, se procedió a generar una retroalimentación general por medio de una encuesta al grupo experimental y control, con el fin de obtener datos que posteriormente permitieran su comparación y observación con el fin de comprender la sensibilidad al tema de parte de los encuestados.

A continuación, se resumen los datos y observaciones más relevantes a partir de la comparación de datos en base a las 28 valuaciones de parte del grupo experimental y mismo número de parte del grupo control.

6.6.1. Apartado 1: Perfil del alumno

En este apartado se plantearon algunas preguntas para conocer el estado del alumno en relación a la carrera junto a los intereses que tenían al momento, con el fin de tener idea en qué área profesional se desenvolvían o tentativamente lo harían. En el gráfico 19, se puede observar que tanto el grupo experimental y control, la mayoría de los alumnos indicaron haber completado la carrera con ser titulados o egresados, en el que sólo una minoría indicó pasantía o falta de cierre de ciclo. Mientras que estos datos no impactan directamente para la observación en la sensibilización por el tema, se puede tener mayor certeza de que la mayoría de los encuestados de ambos grupos se desenvolvían en el sector profesional.

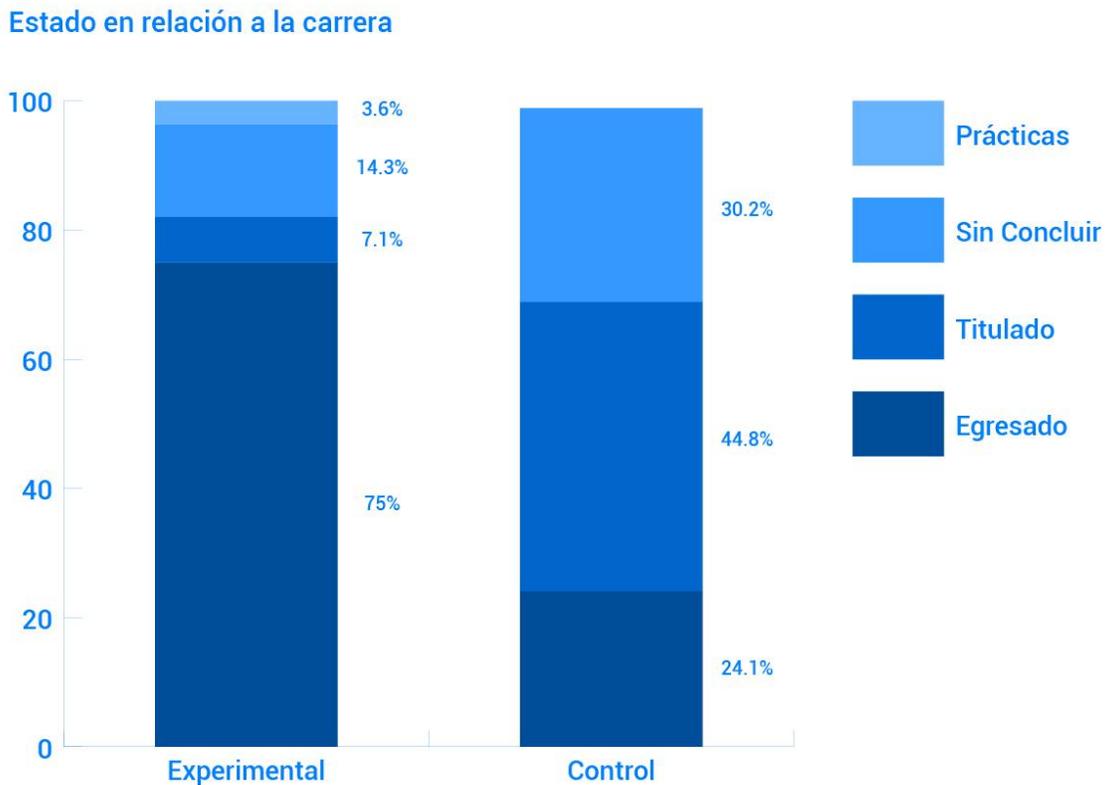
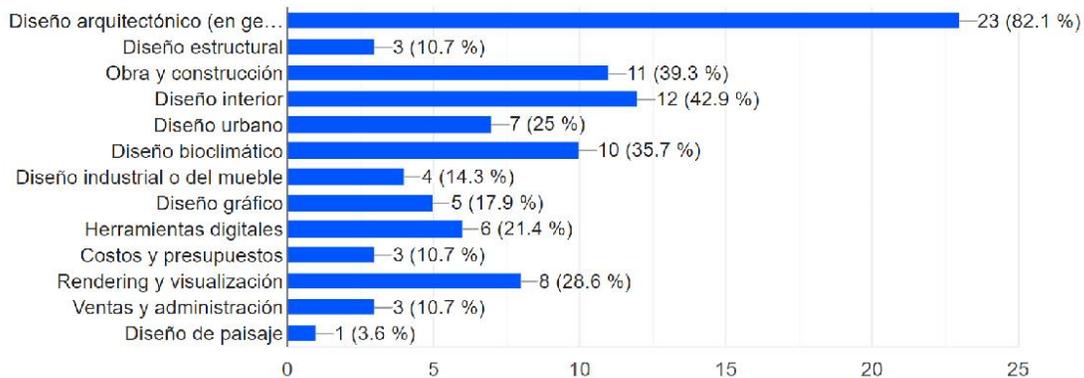


Gráfico 19: Comparación del estado en la licenciatura del grupo experimental y control. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, en el gráfico 20 se observan los intereses de ambos grupos, en el cual primeramente resalta el área del diseño arquitectónico, seguido del diseño interior y diversos intereses marcados como lo son la obra y construcción, renderizado y visualización, diseño bioclimático, entre otros. Mientras que el diseño paramétrico tiene una aplicación de uso general desde la generación de gráficos, animaciones, análisis, hasta los edificios, muebles, diseño de moda y más, se puede interpretar que la respectiva aplicación dominante de los encuestados se propició o haría en las diversas ramas previamente mencionadas referentes al sector arquitectónico.

Grupo Experimental - Intereses



Grupo Control - Intereses

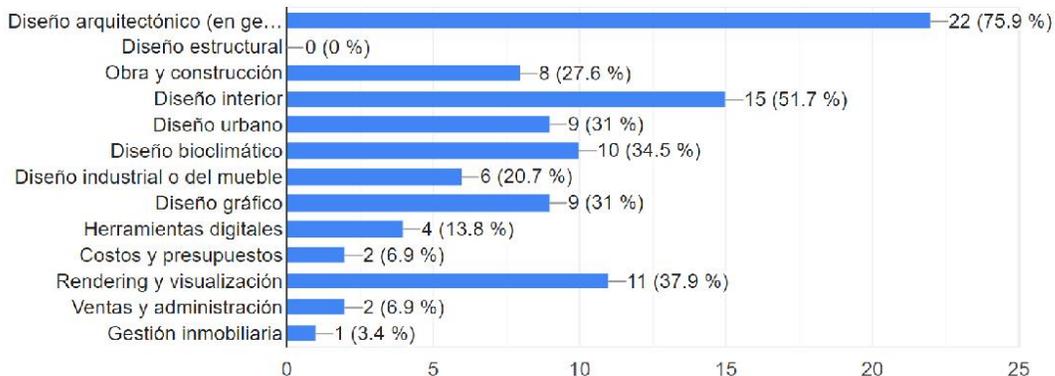


Gráfico 20: Comparación de intereses en el sector laboral de parte de los encuestados. Fuente: elaboración propia.

6.6.2. Apartado 2: Herramientas digitales

En este apartado se plantearon preguntas clave para conocer la experiencia previa de los encuestados en relación con su manejo de instrumentos digitales, hay que recordar que un punto de la evaluación general reveló que los alumnos de la UAQ cuentan con la fortaleza en el manejo de las herramientas y tecnologías, misma cualidad que se percibe en ambos grupos como se puede observar en el gráfico 21, ya que la mayoría de los encuestados indicaron haber manejado entre 4 o 6 herramientas, seguido de un sector que indicó haber manejado más de 7, y otro que testificó haber utilizado entre 1 y 3 instrumentos, también se puede observar que el grupo experimental cuenta con una minoría que en general indicó haber manejado más herramientas que el grupo control.

Manejo de herramientas digitales

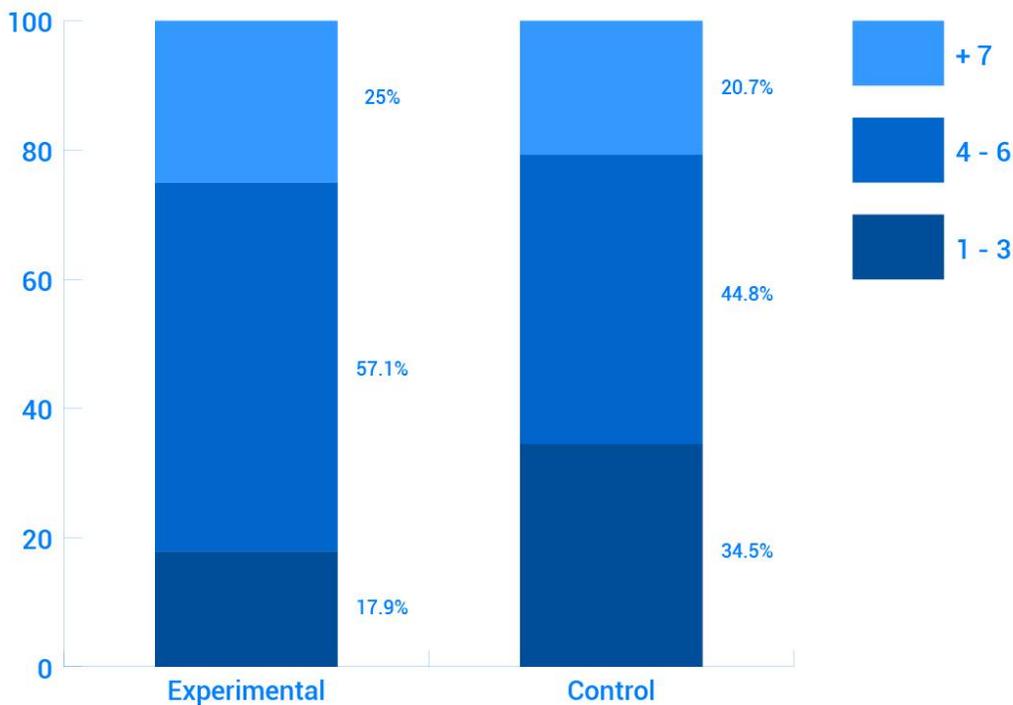


Gráfico 21: Comparación del manejo de herramientas digitales de ambos grupos. Fuente: elaboración propia.

Además de observar cómo ambos grupos comparten en realidad un grado casi similar en el manejo previo de las herramientas digitales, hay que resaltar que disponer de una experiencia previa en el empleo y aplicación de diversos instrumentos que comparten cualidades similares como lo puede ser la interfaz, comandos, funciones, técnicas entre todo tipo de aspectos adicionales, fue uno de los puntos a favor que facilitó y sumó positivamente a la curva de aprendizaje de los alumnos a lo largo del diplomado. Cabe agregar que en otra consulta se fue más específico al preguntar si se contaba con alguna experiencia previa en el tema de la programación visual o textual, a lo cual de parte del grupo experimental el 71.4% indicó afirmación mientras que del control sólo el 32.1% lo hizo, recordando que de parte del grupo experimental esto se debe también a la ligera experiencia generada a lo largo de las pruebas preliminares, lo cual también sumó al flujo de aprendizaje a lo largo de la ejecución del diplomado.

Además de los datos previamente expuestos se generaron valuaciones adicionales en función de la *Escala Likert* -del 1 al 5-; en la primera consulta el grupo experimental indicó mayor interés por el aprendizaje de nuevas herramientas digitales al haber sido el 92.8% de los alumnos quienes indicaron afirmación a diferencia del grupo control con el 78.6% de respuestas positivas; 53.6% de respuestas del grupo experimental indicaron facilidad por el aprendizaje de nuevas herramientas digitales mientras que del control fue el 42.9%, con el resto de respuestas de ambos grupos posicionados en un rango neutral y negativo; ambos grupos indicaron una comprensión positiva a la oportunidad de diseñar proyectos más complejos al desarrollar nuevas habilidades con el aprendizaje de nuevos instrumentos digitales, la necesidad del empleo de las herramientas digitales para el desarrollo de geometrías complejas, importancia de seguir actualizándose en el manejo de los instrumentos y de éstas para el entorno laboral.

Mientras que son varios de los factores que finalmente suman a la comprobación de hipótesis por medio de la observación de comportamientos que demuestren mayor sensibilidad de parte del grupo experimental en torno a la diversificación de las geometrías formales en el diseño de proyectos arquitectónicos, un efecto interesante que resalta a partir de los datos desde un principio es cómo fue que el grupo experimental demostró más sensibilidad por el tema de las herramientas digitales a diferencia del

grupo control -recordando que ambos grupos indicaron casi la misma experiencia previa en el manejo de los instrumentos digitales-, a lo cual se puede interpretar desde una perspectiva que la ejecución de la prueba preliminar y el diplomado tuvieron potencial de haber denotado mayor grado de comprensión en la importancia y oportunidades que brindan los nuevos instrumentos digitales.

6.6.3. Apartado 3: Perspectiva del tema

En este bloque se buscó valorar e interpretar la perspectiva que se tiene sobre el tema del diseño paramétrico, con el fin de observar contrastes en relación a los distintos conceptos que conforman el campo temático.

La primera valuación -y similar como fue en el apartado sobre las herramientas digitales- consultó si se contaba con alguna experiencia previa en el tema del diseño paramétrico -para el grupo experimental la consulta fue previo de haber tomado el diplomado-, mientras que se esperaba mayor afirmación de parte del grupo experimental en realidad los resultados fueron idénticos ya que en ambos grupos el 32.1% de respuestas indicaron haber tenido un acercamiento con el tema; cuando se consultó el interés que se tenía por el tema de parte de los encuestados, el 92.9% de las respuestas del grupo experimental marcó afirmación mientras que del grupo control sólo el 67.9% lo hizo, a lo cual se puede interpretar que la implementación del diplomado sumó para desarrollar cierto grado de sensibilidad por el tema del diseño paramétrico ya que el interés tiene potencial de convertirse en uno de los motivadores que suman para que el alumno aplique y emplee las técnicas aprendidas en el diseño de un proyecto.

Además de observar un cambio de interés por el tema, otra pregunta consultó la asociación del mejor concepto para describir el tema del diseño paramétrico en el que los encuestados podían marcar máximo 3 conceptos. Al revisar los resultados se observó que en realidad ambos grupos tuvieron un comportamiento similar ya que el primer concepto más asociado al diseño paramétrico fue la generación de geometrías complejas, el segundo el del diseño de un proceso y el tercero al de un sistema complejo.

Mientras que se esperaba que el diseño de un proceso fuera el aspecto dominante de parte del grupo experimental -ya que este punto sobre el tema del diseño paramétrico se puntualizó a lo largo de la capacitación- por otra razón se posicionó en segundo plano. Aunque la principal idea sobre el diseño paramétrico se mantuvo, se puede interpretar que la metodología puede contar con un ajuste para puntualizar aún más el diseño de los procesos antes de la asociación a composiciones formales complejas.

Cuando se consulta el grado de facilidad para aprender el tema, se observó que del grupo experimental sólo un 21.4% de valuaciones se posicionaron en el rango positivo, mientras que del grupo control el 50% lo hizo. Aquí se puede interpretar que los alumnos del diplomado, al momento de haber experimentado y conocido todo lo que implica el aprendizaje del tema del diseño paramétrico, asentaron expectativas más realistas a diferencia de los que no han experimentado el aprendizaje del tema, y mientras este punto no es necesariamente algo negativo para la investigación es interesante observar cómo cambia la perspectiva en torno al grado de dificultad de aprendizaje por el tema una vez vivida la experiencia. Se puede adicionalmente interpretar que se deberá tener cuidado al implementar una aproximación metodológica sobre este tema, ya que la creencia de que un tema es más fácil de lo que realmente es, puede representar un riesgo para el aprendizaje de este y se deberá concientizar a los alumnos en todo lo que implica el aprendizaje para que no se tengan expectativas fuera de las realistas.

Adicionalmente, una pregunta consultó el grado de incentivación para el desarrollo de geometrías complejas, a lo cual de parte del grupo experimental el 100% de las respuestas se posicionó en el rango positivo mientras que del grupo control lo hizo el 89.3%. Recordando que el objetivo general busca sensibilizar a los alumnos para la diversificación de geometrías formales en el diseño de un proyecto, se puede interpretar que este incremento forma parte de los diversos factores que empiezan a sumar para la comprobación de la hipótesis. Por otro lado, se consultó si el diseño paramétrico facilita el desarrollo de geometrías más complejas en un proyecto, a lo cual nuevamente el 100% del grupo experimental marcó afirmación mientras que del grupo control fue el 92.9%, contraste que nuevamente permite observar más sensibilidad de parte del grupo experimental. Finalmente, se consulta el grado de importancia de este tema para el

entorno laboral, a lo cual el 53.5% de las respuestas de parte del grupo experimental marcó afirmación mientras que del grupo control fue un 46.5%.

6.6.4. Apartado 4: Resolución de problemas formales

En este apartado se procedió a conocer la perspectiva de los encuestados en torno a la resolución de problemas geométricos complejos, en el cual al inicio de la valuación se proporcionó la figura 107 que contenía diversas composiciones formales. Una vez que los encuestados hayan observado el gráfico de referencia, se procedió con el planteamiento de distintas consultas con el fin de conocer la perspectiva en torno a la resolución de los problemas formales observados. En la primera valuación se consultó por la dificultad considerada para la resolución geométrica de los elementos con el manejo de las herramientas paramétricas, a lo cual se pudo observar que el 60.7% del grupo experimental indicó facilidad en la resolución del problema formal mientras que el 46.5% del grupo indicó misma afirmación, lo cual se puede interpretar como una buena señal ya que si el grupo afirma facilidad para la resolución de un problema formal es posible que sean más propensos en aplicar alguna de las técnicas aprendidas para la exploración formal de nuevas posibilidades en un proyecto, factor adicional que suma a la comprobación de hipótesis.

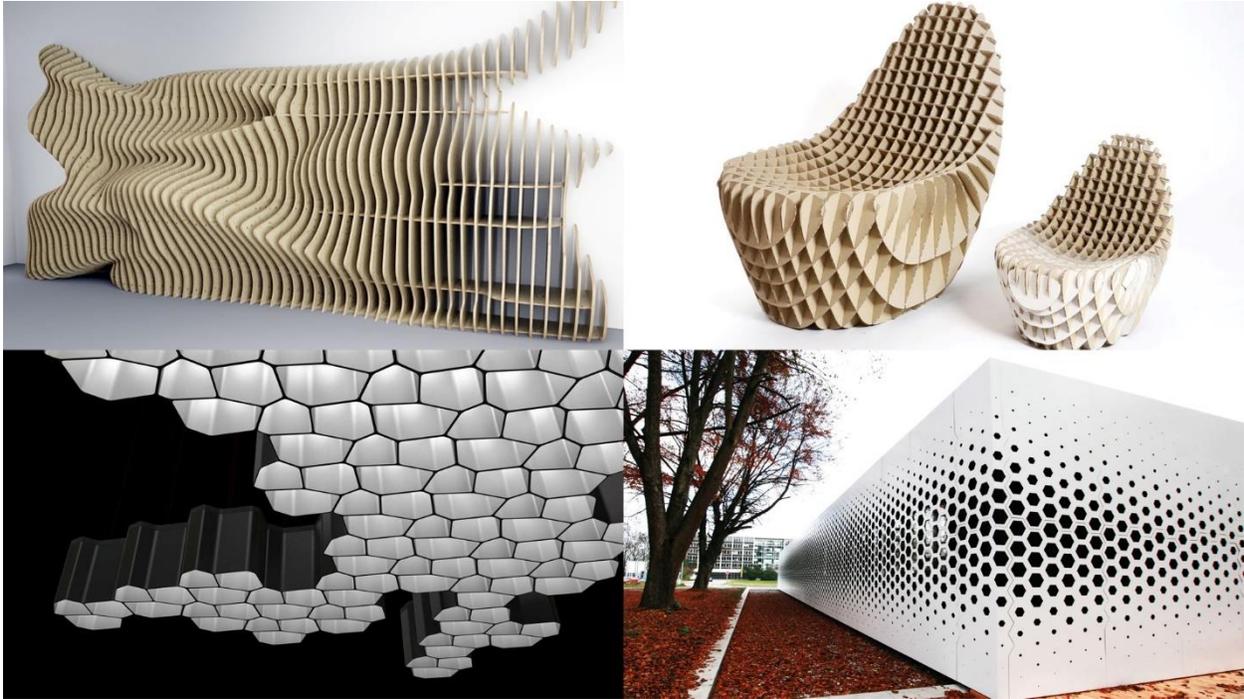


Figura 107: Gráficos de referencia que se presentó a los alumnos, conteniendo diversos ejemplos análogos de composiciones formales complejas asociadas al diseño paramétrico. Fuente: Elaboración propia en apoyo de Google Imágenes.

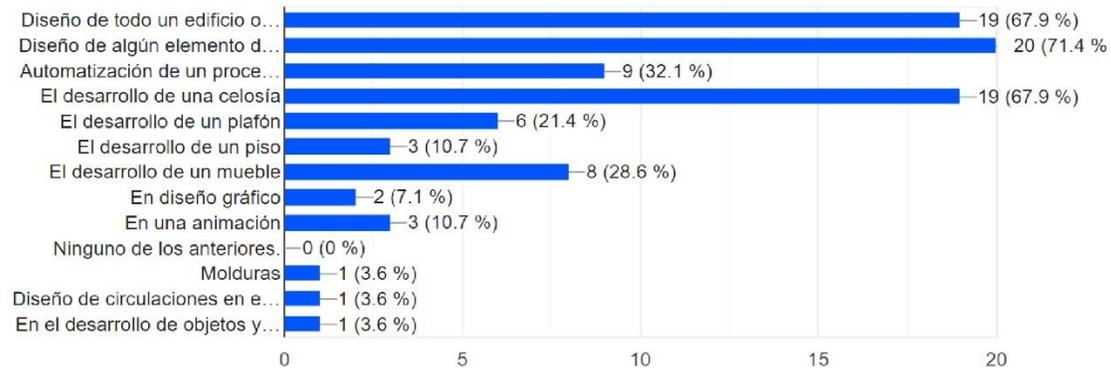
Asimismo, en la siguiente consulta se preguntó por la practicidad y factibilidad considerada para la materialización de alguna de las geometrías presentes del gráfico de referencia, a lo cual nuevamente 67.9% del grupo experimental marcó afirmación mientras que del grupo control lo hizo el 60.8%, esto nuevamente se puede interpretar como una señal positiva ya que como el grupo experimental tuvo oportunidad de poner a prueba las técnicas paramétricas por medio de la fabricación de un proyecto a escala real, se puede decir que esta práctica reforzó la creencia en la factibilidad de fabricación de geometrías complejas, ya que al *perderle el miedo* -dicho de otro modo- a la fabricación de posibilidades oblicuas, genera más probabilidad de que un alumno que haya comprendido las técnicas paramétricas fuera más propenso a explorar posibilidades formales, punto que nuevamente suma a la comprobación de hipótesis.

Seguidamente, se realizó una pregunta más directa con sólo dos posibilidades -sí o no- que consulta a los encuestados la consideración a futuro en llegar a manejar e

implementar el diseño paramétrico y la exploración de geometrías complejas en un proyecto, a lo cual el 100% del grupo experimental respondió con afirmación mientras que el 92.9% del grupo control respondió de modo positivo, reforzando así la perspectiva de que el grupo experimental le pierde el miedo para la exploración de nuevas posibilidades formales. Adicionalmente, al momento de consultar bajo la *Escala Likert* - del 1 al 5- la disposición para manejar el diseño paramétrico o la exploración de alguna geometría compleja para un proyecto, se observó que el 100% del grupo experimental indicó una disposición positiva mientras que el 89.3% del grupo control indicó afirmación, nuevamente reforzando lo comentado con anterioridad.

Adicionalmente, se realizó una consulta semiabierta en la cual se proporcionaron algunas sugerencias de respuestas junto a la posibilidad de agregar más opciones de modo abierto, y se solicitó posteriormente a los encuestados marcar en cuál de los siguientes casos sería probable que emplearían las técnicas de diseño paramétrico. Al consultar los resultados que se pueden observar en el gráfico 22, se observó un comportamiento interesante.

Grupo Experimental - Posibilidades de aplicación



Grupo Control - Posibilidades de aplicación

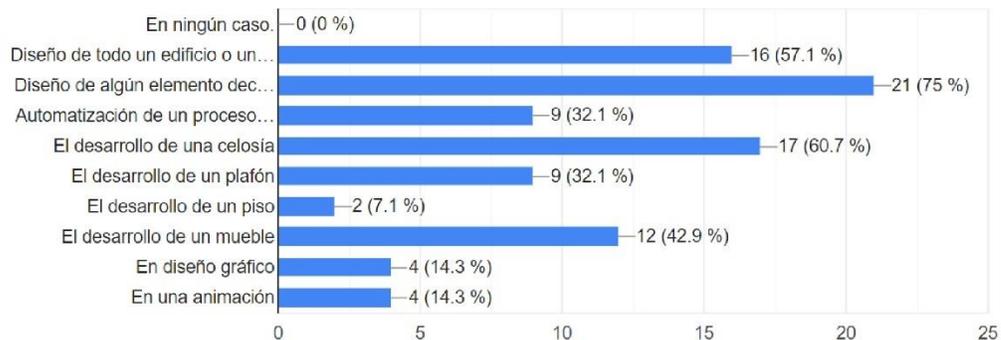


Gráfico 22: Consulta a los encuestados por los posibles casos hipotéticos en donde considerarían emplear las técnicas del diseño paramétrico. Fuente: elaboración propia en apoyo de Google Forms.

Mientras que el grupo control se apegó meramente a las opciones propuestas por defecto sin aportar ninguna sugerencia adicional de su parte, en el grupo experimental se observaron sugerencias abiertas adicionales; además, mientras que el grupo control marcó opciones más reservadas en el sentido de aplicar las técnicas paramétricas para el diseño de algún elemento secundario o decorativo, el grupo experimental no tuvo miedo en indicar la opción del diseño de todo un edificio como una de las más destacadas. Finalmente se puede interpretar que este comportamiento también suma a

la comprobación de hipótesis, al ser esto señales positivas adicionales que demuestran más sensibilidad por la experimentación de posibilidades formales de parte del grupo experimental.

6.7. Evaluación grupo experimental

Además de haber revisado resultados que permitieron comparar y observar contrastes clave que suman a la comprobación de hipótesis, en la encuesta empleada para el grupo experimental se manejaron adicionalmente apartados particulares con el fin de obtener información sobre la aplicación de las técnicas que permitiera resaltar comportamientos de parte de los alumnos que aprendieron las técnicas paramétricas y tuvieron oportunidad de emplearlas en el entorno profesional, además, se planteó un apartado adicional referente al diplomado con el fin de obtener retroalimentación que permitiera conocer las fortalezas y áreas de oportunidad sobre la aproximación metodológica.

A continuación, se resumen los datos y observaciones más relevantes a partir de lo observado en función de las 28 valuaciones de parte del grupo experimental.

6.7.1. Apartado 5: Aplicación

Este apartado se desarrolla con el enfoque de observar si lo aprendido de parte de los alumnos tuvo efecto para el entorno laboral bajo casos pragmáticos, hay que aclarar también que se mantuvo discreción con el fin de evitar generar conflictos de intereses y se recopiló información en función de lo que los encuestados decidieron compartir.

La primera pregunta del apartado consultó a los encuestados si hasta el momento y por iniciativa propia han tenido oportunidad fuera del diplomado de explorar más posibilidades sobre el diseño paramétrico o el desarrollo de geometrías complejas, a la cual el 60.7% respondieron con afirmación. Mientras este dato se puede todavía interpretar de un modo relativamente seco ya que los alumnos pudieron haber manejado

las técnicas y herramientas aprendidas desde la experimentación de algo muy breve o conciso hasta proyectos con mayor grado de complejidad, lo que se puede resaltar es el hecho de que transcurridos poco más de 4 meses se mantuvo viva la necesidad de exploración e interés de parte de los encuestados en la búsqueda de aplicación de las técnicas, ya que existen ocasiones en el entorno educacional en las que se puede aprender un tema que finalmente no se implementa en el entorno profesional, debido a que no se han presentado oportunidades para la aplicación de lo aprendido. Concluyendo que, el mostrar signos de iniciativa propia permite comprender un efecto positivo que suma y mejora las probabilidades de tener casos de implementación real posterior.

Mientras que en la primera consulta se manejó todavía un sentido abierto para conocer más que nada la iniciativa y el interés de los encuestados, en la segunda pregunta se tuvo un acercamiento más directo con el fin de obtener retroalimentación más concreta en relación a la iniciativa de implementación de las técnicas. Al preguntar a los encuestados si hasta el momento y por iniciativa propia han tenido oportunidad de implementar el diseño paramétrico o alguna geometría compleja en un proyecto o caso real fuera de lo académico, el 21.4% de las valuaciones indicaron afirmación, dato que se traslada a 6 casos de implementación. A esto se procedió con otra consulta en caso de haber marcado afirmación solicitando a los encuestados describir brevemente en lo que consistió la implementación, a lo cual los alumnos describieron de modo abierto los siguientes casos:

- *El diseño de un mueble.*
- *Uno fue una cubierta para unas canchas, el otro fue una fachada orgánica conformada de cortasoles paramétricos.*
- *Diseñé una celosía para un kínder con formas geométricas de distintos lados y tamaños, y éstas se iban haciendo más pequeñas (como degradado). Todas estaban dispersas de forma aleatoria, pero con separaciones mínimas para que el láser no debilitara la placa. También diseñé el plafón de un pasillo de una oficina, fue un proyecto costoso (se avisó al cliente) porque eran planos seriados*

distintos entre sí, al unirlos generaban una especie de curvas. Fueron cortadas en madera para después colgarlas sobre la losa reticular.

- *Una celosía para el interior de una casa.*
- *Diseño de una celosía y de un mueble pequeño.*
- *Áreas verdes y espacios de contemplación.*

Mientras que era posible reforzar aún más lo descrito solicitando a los encuestados compartir evidencia de los proyectos, se decidió mantener el alcance únicamente en una breve descripción sobre los casos de implementación con el fin de respetar los lineamientos éticos al evitar riesgos en la generación de conflictos de interés con los grupos laborales. Una vez teniendo una idea de los casos de implementación, hay que resaltar que mientras la primera consulta permitió observar un interés e iniciativa en la aplicación de las técnicas de diseño paramétrico, el hecho de observar como tal 6 casos reales de implementación, se puede interpretar como un dato que pone aún más en alto la sensibilización de los encuestados para la exploración y diversificación formal en el diseño de proyectos arquitectónicos con el empleo de las técnicas paramétricas aprendidas. Se puede agregar que al momento de la revisión de resultados sólo se conocieron 6 casos de aplicación real, pero con más tiempo al de sólo 4 meses, sería posible inclusive conocer todavía más ocurrencias en la aplicación de las técnicas; de una u otra manera, el hecho de que se diera como tal una aplicación en proyectos reales con el manejo de las técnicas paramétricas se convierte en un argumento más que suma a la comprobación de la hipótesis.

Asimismo, se llevaron a cabo un par de consultas adicionales con el fin de explorar la perspectiva en torno a los beneficios que generó el manejo de las técnicas paramétricas en su proyecto; en la primera pregunta se retroalimentó si la implementación generó beneficio o perjudicó el proyecto, a lo cual 5 de 6 respuestas marcaron beneficio, mientras que una indicó que se desconoce ya que el proyecto seguía en proceso. Finalmente, se llevó una consulta adicional para conocer si después de la experiencia de implementación, se continuaría con el manejo de las técnicas paramétricas para casos futuros, a lo que el 100% de las respuestas marcaron una disposición positiva.

6.7.2. Apartado 6: Diplomado

Finalmente, se realiza una consulta adicional con el fin de establecer una retroalimentación sobre las fortalezas y las áreas de oportunidad que se presentaron a lo largo del diplomado, permitiendo así generar información que asienta la toma de mejores decisiones para la planeación, organización, dirección y control en futuras implementaciones de esta aproximación metodológica, esto para incrementar la calidad de capacitación además de permitir incrementar el porcentaje de casos de implementación como la sensibilización general de los alumnos para la exploración y diversificación geométrica en proyectos reales por medio de las técnicas paramétricas.

La primera consulta trata la experiencia general de los alumnos en relación al diplomado, en la que el 71.4% de valuaciones calificó su experiencia como muy positiva, el 25% maneja una postura positiva y el 3.6% indicó neutralidad, a esto hay que agregar que la evaluación se acompañó con una retroalimentación abierta y opcional, en la que 10 respuestas describieron en un sentido grato los beneficios de haber aprendido las diversas herramientas y técnicas. Un punto particular de la retroalimentación abierta resaltó la posibilidad de mejora al no saturar gran parte de la capacitación bajo una modalidad de aprendizaje virtual, hay que recordar debido a la crisis sanitaria del momento, el curso se limitó la modalidad mas es muy probable que un balance entre virtualidad y presencialidad haya mejorado la experiencia general del diplomado.

En la siguiente consulta se valoró la organización general del curso, en el que el 42.9% de los encuestados la calificó como muy positiva, 53.6% positiva y 3.6% neutral, además algunos puntos que destacan de la consulta opcional abierta fueron 6 valuaciones que se perciben en un sentido positivo, y una cualidad a mejorar destaca con el tema del tiempo, ya que se indicó que el periodo para el módulo 5 fue muy breve para la fabricación del proyecto final. Esta observación se comprende por un lado ya que se mencionó en una ocasión que hubo necesidad de parte de los docentes involucrados y alumnos de laborar más horas a las inicialmente planeadas para el diplomado, pero también hay que recordar y tener en cuenta que originalmente se contempló la fabricación de un sólo proyecto para todo el grupo con 30 integrantes. Mientras que la

observación sobre el tiempo se debe a la propia exigencia e iniciativa de los alumnos para la fabricación de no uno sino dos proyectos finales, hay que resaltar que apearse al plan original de manejar un grupo grande para enfocar el trabajo en la materialización de un sólo proyecto tiene potencial de diluir la carga laboral recortando también los tiempos requeridos para la fabricación del proyecto.

A esto también hay que agregar que desde la experiencia docente en el bloque 3, asimismo faltó tiempo, ya que en las dos últimas sesiones se apretaron los contenidos temáticos y los ejemplos faltantes de revisar -mismo punto crítico que también se observó al momento de recibir de parte de *Educación Continua* los resultados sobre la retroalimentación generada del bloque por los alumnos-, riesgo que existe y se comprende al momento de planear e impartir una dinámica por primera ocasión. Hay que resaltar que esto se resuelve con los años por medio de la repetición y experiencia, ya que cada docente en función de la retroalimentación obtenida de parte de los alumnos y la experiencia que genera al ejecutar una dinámica en varias ocasiones progresivamente permite ajustar el contenido temático hasta balancear y fijar los tiempos correctos en función de los objetivos particulares.

Adicionalmente se evaluó el contenido temático a lo largo del diplomado, en la que el 75% de los encuestados lo calificó como muy positivo y 25% como positivo, además, en las consultas abiertas resaltó nuevamente la observación sobre el tiempo junto a una sugerencia adicional de omitir ciertos temas con el fin de profundizar otros. Mientras que este punto de omitir algunos temas y profundizar otros genera discrepancia ya que la retroalimentación no especifica exactamente cuáles temas -además de que sólo fue 1 caso de 28 valuaciones en total-, se puede mantener una perspectiva abierta, ya que en función de lo previamente explicado sobre la experiencia de los docentes generada al repetir una dinámica en varias ocasiones hasta equilibrar el tiempo y contenido temático, se puede decir que sólo es cuestión de que cada docente con los años permita ajustar una dinámica hasta lograr equilibrar el contenido temático más útil para los alumnos.

También se exploró la evaluación del desempeño docente a lo largo de la impartición de los diversos módulos, en el que el 85.7% de los encuestados manejaron una valuación muy positiva, 10.7% positiva y un 3.6% mantuvo neutralidad. Hay que agregar que en la

mayoría de las consultas abiertas se manejó también un sentido grato, resaltando nuevamente como único detalle la observación en torno a la presión del tiempo, mismo punto que se abordó previamente; asimismo, se valuó el desempeño administrativo en el que el 82.1% de los encuestados marcaron afirmación muy positiva y 17.9% positiva, y no hubo ninguna observación en la consulta abierta.

Punto adicional de la encuesta abordó la aplicabilidad de las herramientas y técnicas aprendidas en el desempeño laboral, a lo que el 35.7% de alumnos indicaron una respuesta muy positiva, 42.9% positiva y 21.4% mantuvo neutralidad, y al consultar las retroalimentaciones abiertas se observaron varios puntos. Mientras que algunos casos indicaban que son herramientas y técnicas útiles, otros afirmaron que como lo aprendido no estaba todavía estandarizado en México -ya que se siguen empleando métodos y técnicas convencionales en 2D-, no se ha presentado la oportunidad de implementar lo aprendido en el entorno profesional, mas se espera que en un futuro se desarrollé la oportunidad para hacerlo. Este punto destaca la importancia de innovar y empujar los límites -una visión que se resaltó al inicio de la investigación- con el fin de beneficiar el contexto laboral, ya que se espera que los alumnos con base de lo aprendido sigan buscando oportunidades que sumen a la implementación y adopción tecnológica en el entorno mexicano profesional al proponer soluciones más eficientes a las tradicionales que demuestren las capacidades de las nuevas técnicas.

Finalmente se llevaron a cabo valuaciones adicionales, en la cual una consulta buscaba conocer si el haber tomado el diplomado bajo una modalidad virtual benefició o perjudicó el aprendizaje en general, en el que se observó que el 46.4% de las respuestas indicaron la perspectiva de beneficio y 39.3% asentó en lo perjudicial, además, algunas respuestas resaltaron el beneficio de saber manejar la situación como los problemas técnicos -luz, internet, inestabilidad en la conexión, etc.-, riesgo que siempre existe al momento de organizar una actividad bajo una modalidad virtual.

Asimismo, hay que agregar que al momento de consultar la retroalimentación abierta se generaron 12 respuestas que permitieron observar beneficios y desventajas de la modalidad virtual. En beneficios resaltó el manejo de recursos de apoyo digitales como lo fueron guías, vídeos adicionales, documentos de texto, y más que nada, haber podido

grabar las sesiones impartidas ya que esto facilitó el aprendizaje a los alumnos permitiéndoles consultar en varias ocasiones las explicaciones en caso de que hubiera duda o confusión. Otro beneficio resaltó la flexibilidad del tiempo, ya que la modalidad virtual dispone también de la ventaja en el ahorro de tiempo -en la mayoría de los casos y dependiente al contexto de cada persona- para los traslados entre lugares.

Entre lo perjudicial y negativo resaltó la necesidad de cercanía para resolución de dudas, trabajo en equipo y los diversos procesos de aprendizaje, ya no es lo mismo brindar asesoría bajo modalidad virtual que presencial. Mientras que varias herramientas como lo es la plataforma de Zoom® permiten la toma a distancia del control remoto del equipo computacional ajeno para solucionar problemas en torno a un ejercicio o brindar la asesoría técnica necesaria a los alumnos, hay que resaltar que la modalidad presencial prevalece en el ámbito de la retroalimentación ya que permite tanto a docentes y estudiantes interactuar con mayor cercanía y eficacia para contar con un canal de comunicación y retroalimentación más sólido de ambas partes. Asimismo, entre las desventajas de la virtualidad resalta también la necesidad de cercanía para el trabajo en equipo, ya que varias valuaciones apuntaron a la debilidad de la modalidad virtual para llevar a cabo actividades conjuntas; de la misma forma que no es del todo imposible resolver dudas y establecer la comunicación entre docentes y alumnos con el manejo de herramientas que permiten la toma del control remoto de equipos, llevar a cabo el desarrollo de actividades de trabajo en equipo en una modalidad presencial prevalece sobre la virtual, al permitir entablar mejores lazos de comunicación, expresión, lenguaje corporal, interacción social entre otros aspectos para el acercamiento y desarrollo de las ideas.

En otra consulta se exploró la perspectiva en torno a las limitantes propuestas para el proyecto, con el fin de conocer si la modalidad *Open Minded* -concepto que se recuperó del análisis metodológico empleado en la UGR- sin limitantes para el desarrollo del proyecto fueron las adecuadas, o en caso contrario, se consideraba que se debían generar constricciones con el fin de reducir costos y esfuerzos, a lo cual 57.1% de los encuestados afirmaron preferencia para el manejo de proyectos completamente libres, 35.7% indicaron preferencia para establecer limitantes en la propuesta de proyectos con

el fin de reducir costos y esfuerzos, junto a una minoría que sugirió establecer limitantes de tamaño y alcances con libertad en materiales y ensambles, y otra propuesta para advertir y sensibilizar más el tema de los costos y consumos.

Además de explorar sugerencias en torno a las constricciones del proyecto, se generó una retroalimentación sobre el rango en el aporte económico por alumno ideal que los encuestados consideraban adecuado para la materialización del proyecto final en futuras iteraciones de cursos, a lo cual el 50% de las respuestas indicó que un aporte entre los \$1000 y \$500 mxn. por alumno sería adecuado, 46.4% entre los \$500 y \$0 mxn. y una respuesta señaló más de \$1000 mxn. por estudiante.

Hay que señalar que este aporte económico se consideró únicamente para el costo de los materiales y algunos servicios adicionales, recordando que la institución universitaria absorbió una carga económica con el apoyo de máquinas presentes en los espacios del PROTOLAB y CEDIT para los trabajos de fabricación en corte laser y router de las diversas piezas a partir de los materiales manejados para ambos proyectos.

Una vez teniendo en consideración el posicionamiento económico de parte de los alumnos para el contexto de la UAQ, hay que agregar que desde un inicio se tomó la decisión de no establecer demasiadas limitantes para la propuesta de los proyectos y apegándose en parte de la metodología empleada en la UGR bajo el concepto de *Open Minded* con la expectativa de obtener variedad de proyectos para enriquecer la experiencia de aprendizaje, esto al disponer de propuestas que rompen la monotonía en lo funcional, formal, estructural, material y técnico. Mientras que se cumplieron parte de las expectativas al obtener variedad de propuestas que van desde el diseño de elementos arquitectónicos completos, parciales, de mobiliario y otros, se generó el problema de que sólo una selección de proyectos se posicionaba en los rangos económicos y de tiempo esperados para las actividades de fabricación en el módulo 5, mientras que la mayoría de propuestas se desvió de lo requerido.

Mientras que los alumnos expresaron su perspectiva para seguir manteniendo la visión *Open Minded* para la propuesta de los proyectos, se considera que para el contexto de la UAQ será necesario seguir explorando las constricciones y limitantes para la propuesta

de proyectos, esto con el fin de alinear las propuestas obtenidas de parte de los alumnos a una naturaleza de proyectos efímeros que sigan permitiendo una adecuada implementación pragmática de las técnicas paramétricas pero reduciendo al mismo tiempo los esfuerzos económicos y laborales aún más.

Un modo de limitar los proyectos se podría emplear con el posicionamiento de la forma restringida a materiales más frugales, como lo puede ser por ejemplo, el manejo de un 80% del material constructivo basado en variedad de formas con el uso del cartón -un material económico, con amplia variedad de usos, adecuado con el ambiente e ideal para la exploración experimental que se pretendía lograr en el diplomado-, como lo pueden ser placas de cartón corrugado, doble corrugado, tubos, cajas entre variedad de formas adicionales, y posicionar el otro 20% del material para el proyecto a libertad y propuesta de los alumnos, esto para resolver las uniones, ensambles y todo tipo de elementos que permitan la fijación de la variedad de piezas en cartón. En términos de dimensiones, se puede fijar que las propuestas geométricas no se salgan de un espacio, por ejemplo, con medidas de 3.00 metros de base, profundidad y altura. Dicho lo anterior, se esperaría entonces que con estos nuevos parámetros se siga manteniendo una experiencia de aprendizaje enriquecedora, pero reduciendo drásticamente los costos, tiempos y esfuerzos de ejecución para el proyecto final, e inclusive con mayor consideración ambiental a través del ciclo de vida del proyecto, a lo obtenido para la presente investigación.

Al comentar las observaciones sobre el ciclo de vida de ambos proyectos finales, hay que recordar que el mueble denominado como *Bio-Sa* se donó a la coordinación de la licenciatura en arquitectura para ser manejado bajo un uso libre, y el proyecto de contemplación *Anticubierta* tuvo consideraciones para que uno de los integrantes del equipo se llevara el proyecto, pero finalmente sufrió un abandono al final quedándose en desuso en uno de los espacios del edificio I por más de 6 meses, para finalmente ser reciclado por la coordinación de la licenciatura en arquitectura. Para futuras versiones del curso, diplomado o implementaciones que involucren la materialización de un proyecto final a escala real, habrá que tener aún más claridad en

el ciclo de vida para el proyecto, que va desde el primer día de su respectivo diseño hasta el día de la presentación final y conclusión del curso.

Además de comentar sobre las observaciones que se tienen sobre las constricciones para la materialización de un proyecto final como su ciclo de vida, en el posicionamiento económico para el proyecto algunas de las retroalimentaciones abiertas hicieron hincapié en la necesidad de mayor aclaración para los alumnos desde el primer día sobre el requisito de cubrir un costo adicional para el desarrollo de un proyecto final. Mientras el costo del diplomado establecido por *Educación Continua* representó ya una carga económica pesada para los alumnos, se observó inquietud negativa -en función de lo expresado en las retroalimentaciones abiertas- por el hecho de tener una carga económica adicional, además de la ya impuesta por la institución.

Se esperaría que, además de modificar las constricciones del proyecto final junto a los ajustes del empleo de materiales más frugales y limitados a volumetrías reducidas, y el hecho de hacer desde un inicio aún más énfasis en la necesidad de cubrir una carga económica -en este caso ya sería reducida con los nuevos parámetros para el proyecto-, finalmente todo esto permita reducir la inquietud que se expresó en el punto valuado sobre el factor económico para la fabricación de un proyecto final.

Finalmente, se hizo una última valuación en relación al modelo de implementación adecuado que se podría seguir manejando en el contexto de la UAQ para el aprendizaje del diseño paramétrico a futuro, en el que el 64.3% de las afirmaciones señalaron la opción del diplomado como la más adecuada, seguido de varias sugerencias abiertas que giran en torno al manejo del aprendizaje del tema implícito en el plan curricular, por medio de optativas, cursos, actividades extracurriculares, entre otras opciones.

6.8. Comprobación de hipótesis

A lo largo de la investigación se han tomado no uno sino varios factores tanto cuantitativos y cualitativos de base para argumentar la comprobación de hipótesis por medio de la demostración en el cumplimiento del objetivo, y mientras estos datos se han

mencionado puntualmente a lo largo de todo el apartado de resultados, a continuación se resumen y priorizan las observaciones más destacadas que han sumado a esta causa con el fin de permitir comprender más fácil cuáles factores han influido, recordando que el objetivo de la investigación busca sensibilizar a los alumnos por medio de una aproximación metodológica para la diversificación geométrica en el diseño de proyectos arquitectónicos.

En el gráfico 23 se puede observar un resumen de los factores más relevantes visualizados a partir de la comparación de datos entre el grupo experimental y control, esto para los apartados de herramientas digitales y la perspectiva del tema; y en el gráfico 24 se observan los factores más relevantes del apartado de resolución de problemas formales, y el apartado aplicación el cual fue particular únicamente al grupo experimental. Cada consideración se prioriza en 3 niveles de relevancia para marcar una distinción de cuáles factores y argumentos tienen mayor peso a otros para la validación en el cumplimiento del objetivo general de la presente investigación.

1 PRIORIDAD 1
RELEVANCIA MAYOR

2 PRIORIDAD 2
RELEVANCIA MEDIA

3 PRIORIDAD 3
RELEVANCIA MENOR

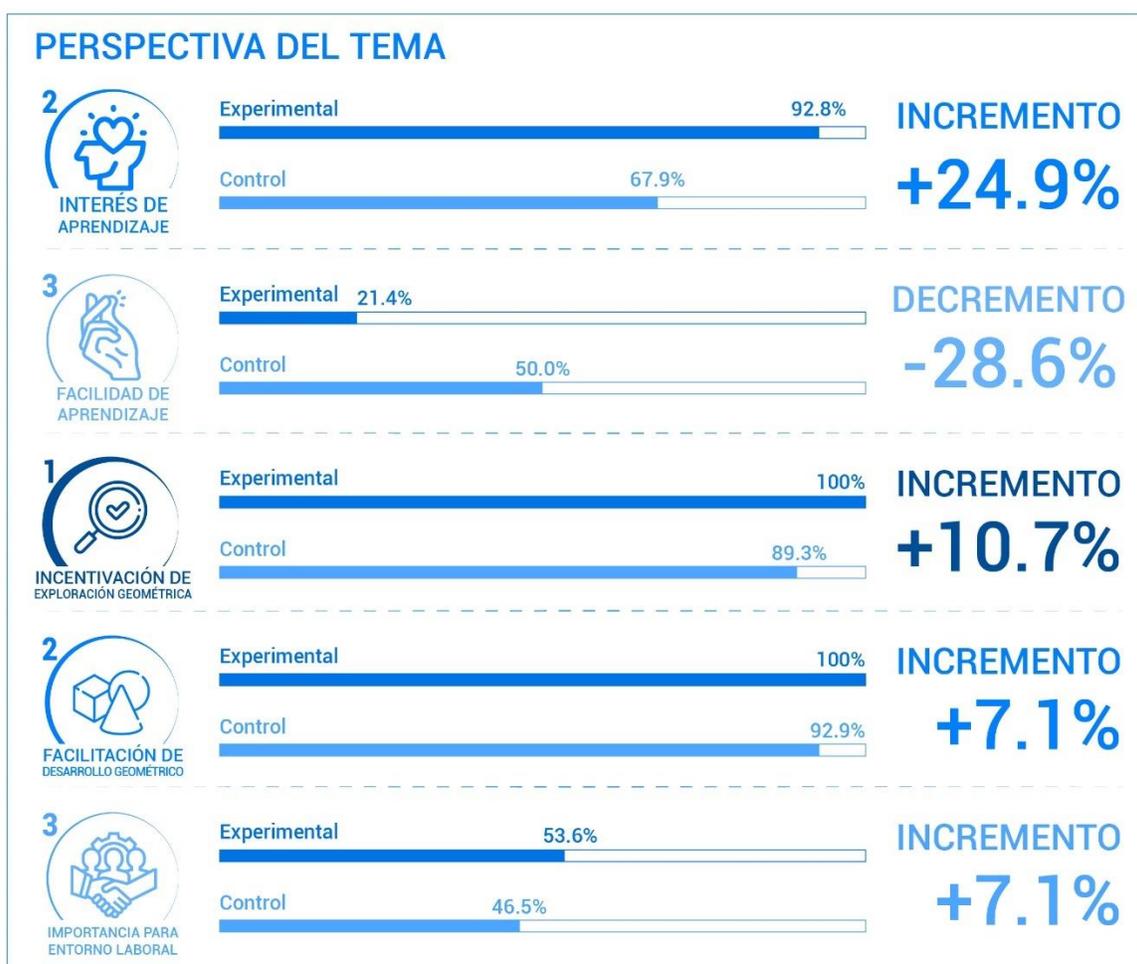
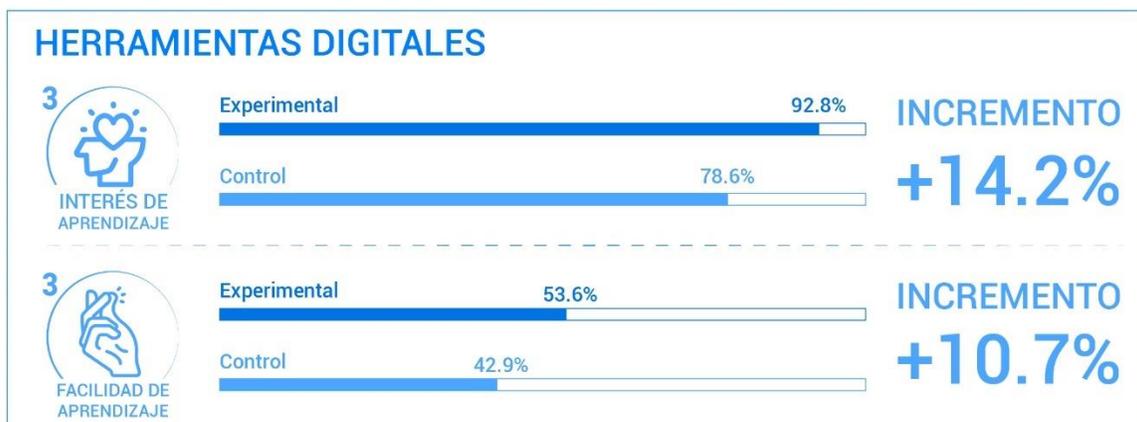


Gráfico 23: Parte 1 de comparaciones y observaciones más relevantes en la validación en el cumplimiento del objetivo general de la investigación. Fuente: elaboración propia.

1 PRIORIDAD 1
RELEVANCIA MAYOR

2 PRIORIDAD 2
RELEVANCIA MEDIA

3 PRIORIDAD 3
RELEVANCIA MENOR

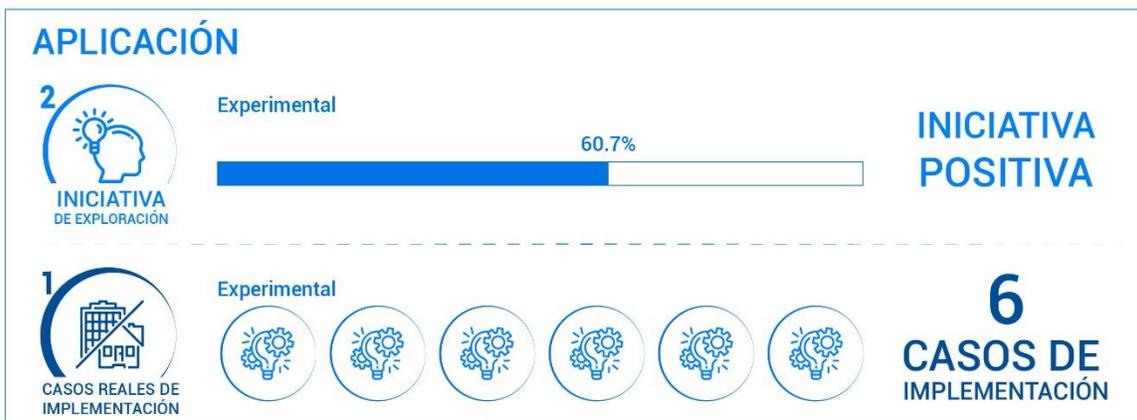
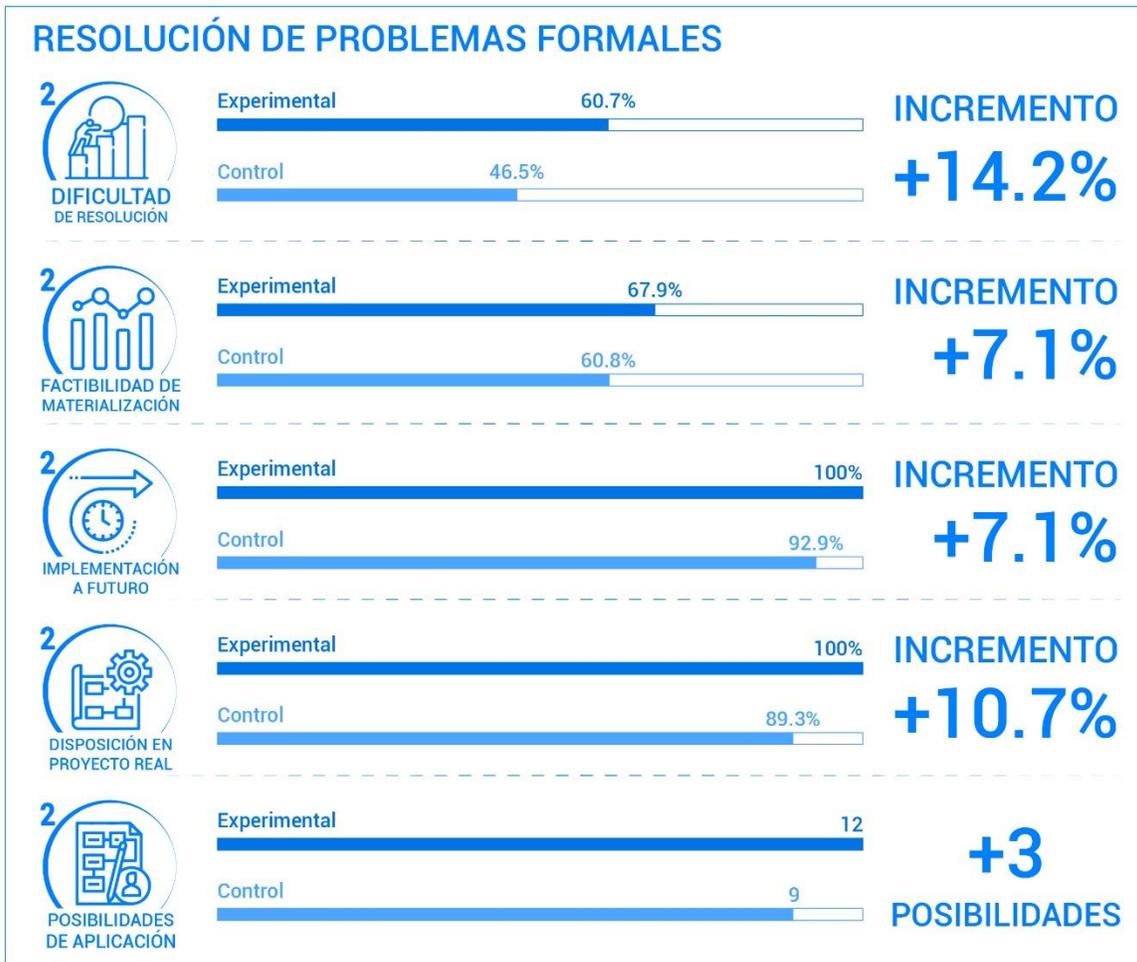


Gráfico 24: Parte 2 de comparaciones y observaciones más relevantes en la validación en el cumplimiento del objetivo general de la investigación. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se incluye un breve resumen de los incrementos a partir de las comparaciones directas -sin considerar los últimos dos datos para la observación puntual de parte del grupo experimental-; en términos generales, se puede decir que el dato promedio observado en relación a la sensibilización por el tema -o la pérdida del miedo en el manejo de las técnicas- se posiciona alrededor del 10%. Hay que agregar que este dato es únicamente una interpretación promedio de un comportamiento observado y que se puede comentar desde diversas perspectivas.

Resumen de comportamientos

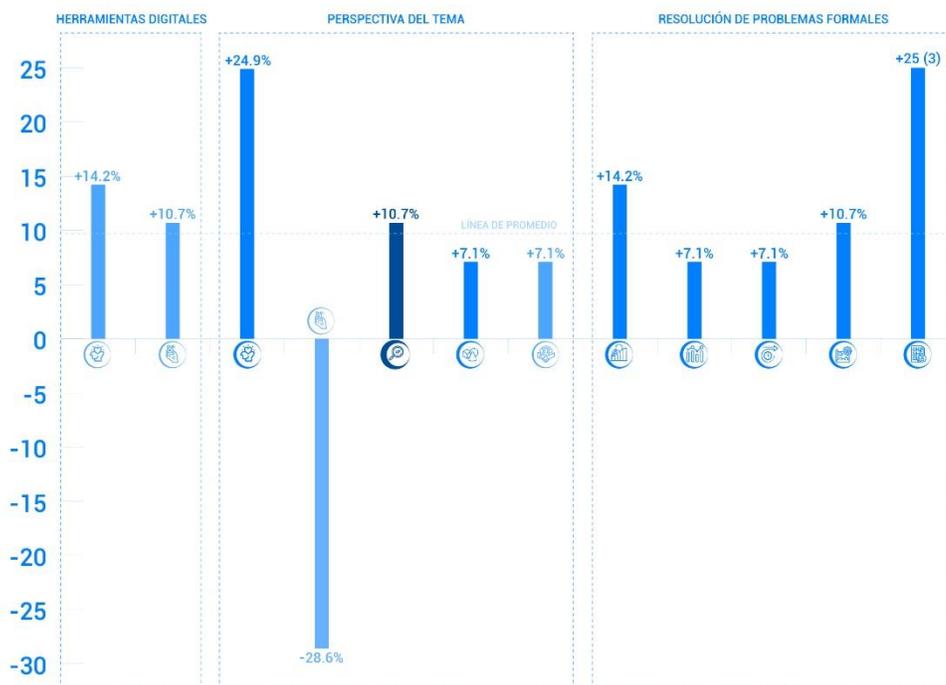


Gráfico 25: Resumen de incrementos y decrementos. Fuente: elaboración propia.

7. Conclusiones

Antes de cerrar con la investigación, a continuación, se comentan las conclusiones y observaciones más relevantes que envuelven los beneficios, áreas de oportunidad, descubrimientos, posibles líneas de investigación a futuro, entre puntos relevantes que surgieron a lo largo de la realización de este proyecto de investigación.

7.1. Conclusiones generales

Primeramente, hay que comentar que la realización de este proyecto de investigación permitió finalmente estructurar y documentar una aproximación metodológica con el fin de facilitar la implementación del aprendizaje del diseño paramétrico en el contexto específico -mas no limitado- de la carrera en arquitectura de la UAQ; y mientras que la investigación se realiza como un primer acercamiento en la enseñanza de este tema, hay que recordar que una de las finalidades de este proyecto de investigación es que sirva también de base en el largo plazo para la planeación y organización de actividades, planes, materias, u otros acontecimientos que conllevan la enseñanza del diseño paramétrico.

Asimismo, se demostró una mayor sensibilización de parte del grupo experimental en contraste con el grupo control, dicho en otras palabras, los alumnos perdieron el miedo a la exploración de geometrías más complejas que son producto del diseño paramétrico. Adicionalmente y como se mencionó al inicio de la investigación, mientras que el manejo de un lenguaje de diseño apegado a la ortogonalidad no es necesariamente un aspecto negativo de parte de un diseñador, es más bien el desaprovechamiento de las oportunidades en la diversificación del vocabulario geométrico foco principal que la presente investigación buscó resolver.

Otro punto a resaltar es que se puede observar que la realización de actividades que conllevan el aprendizaje del tema del diseño paramétrico, que incluyen labores demandantes como la experimentación de lo aprendido por medio de la fabricación de

proyectos a escala real, es factible en el contexto universitario público que conforma la UAQ, y no únicamente se condiciona al contexto socioeconómico de instituciones universitarias posicionadas en Europa o los sectores privados. Mientras que la dinámica del diplomado y los resultados de los proyectos fue positiva, hay que resaltar que todavía existe margen para la mejora. Hay que agregar que la constante repetición de esta dinámica en varias ocasiones, para que por un lado los docentes generen mayor experiencia, y el constante ajuste de las limitantes y parámetros para la propuesta de proyectos de parte de los alumnos, es lo que finalmente tiene potencial de hacer que tanto la calidad del diplomado y los proyectos sobresalgan.

Asimismo, hay que resaltar que a lo largo de la investigación se incluyeron las descripciones de las 9 propuestas y se mapearon sus cualidades, también se conocen los motivos y razones por las cuáles se eligieron los 2 proyectos que se fabricaron. Esto no sólo permite ajustar los parámetros de las siguientes generaciones de propuestas para que se alineen mejor a las expectativas del diplomado, sino que también permite conocer qué tipos de proyectos fueron los idóneos para llevar a cabo la actividad de fabricación planteada al final del diplomado, una labor demandante y que requiere cuidado en la elección del prototipo más idóneo.

Del mismo modo, se conoce ahora mejor el factor económico requerido para llevar a cabo la materialización de un proyecto de este tipo en el contexto de la UAQ, ya que se incluyó información que deja en claro los materiales empleados junto a los costos - aclarando que esto fue para el periodo 2021 y que en un futuro se tendrá que hacer un ajuste contra la inflación-, lo cual permite tener mejores expectativas y toma de decisiones al momento de llevar a cabo actividades de esta naturaleza.

Adicionalmente, la retroalimentación general llevada a cabo sobre la licenciatura en arquitectura, en paralelo benefició a la coordinación de la carrera, ya que se generó información desde un panorama general que contribuyó para la obtención de la acreditación por la Acreditadora Nacional de Programas de Arquitectura y Disciplinas del Espacio Habitable A.C. (ANPADEH), asimismo permitió a los directivos conocer las fortalezas y áreas de oportunidad para la consideración en la mejora continua de la carrera de un modo interno.

Hay que recordar que al inicio de la investigación se comentaron varias de las visiones que incentivaron la realización de este proyecto, una de éstas era la expectativa de una estimulación del entorno profesional en el largo plazo; a lo que hay que resaltar que pasado un periodo de 4 meses una vez concluido el diplomado, se conocieron 6 casos de implementación de las técnicas aprendidas en el medio profesional de parte de los participantes, lo cual se puede interpretar que se apegó a la visión inicial y tiene potencial de incentivar la adopción de nuevas herramientas tecnológicas dentro de los grupos profesionales que rodean el contexto de México.

Por último, hay que comentar que ahora se cuenta con un antecedente e información con la expectativa de que todo esto sirva en el largo plazo para asentar mejores bases para la planeación de futuras reestructuraciones de planes curriculares de la carrera en arquitectura de la UAQ, permitiendo así la toma de mejores decisiones para la incorporación de materias que implican el aprendizaje del diseño paramétrico.

7.2. Conclusiones sobre proyectos

Adicionalmente, hay que comentar los puntos más relevantes observados a partir de las 9 propuestas logradas a lo largo del diplomado junto a las 2 fabricadas a escala real.

Como se indicó en una ocasión en el apartado que trata los resultados, algunos de los proyectos se despegaron de las expectativas que se tenían al inicio, resultando en propuestas demasiado sólidas y pesadas para la experimentación efímera que se pretendía lograr, y este comportamiento fue producto de tomar muy a consideración el concepto *Open Minded*, como lo fue en el ejemplo analizado de parte de la UGR, o dicho en otras palabras, establecer que la propuesta de proyectos de parte de los participantes fuera con limitantes todavía muy abiertas o libres. Con el fin de permitir que las siguientes generaciones de propuestas de proyectos se alineen mejor a las expectativas de una experimentación efímera -proyectos económicos, ligeros y con más consideraciones para su ciclo de vida- se podrían establecer algunas limitantes en términos de naturaleza, dimensiones y material.

En naturaleza del proyecto, se podría considerar la necesidad de un espacio de contemplación y reflexión, esto con el fin de no despegar los proyectos de una naturaleza del diseño arquitectónico, lo cual se debe a que varias de las propuestas a lo largo del diplomado se apegaron a la naturaleza del diseño industrial por medio de la implementación del diseño paramétrico en el desarrollo de un mueble; y mientras que no está del todo mal la exploración en diferentes ramas del diseño, se considera que el aprendizaje para la población que conforma la carrera en arquitectura de la UAQ mejoraría al alinear mejor el ejercicio bajo una naturaleza más específica.

En relación al punto de las dimensiones, se podría establecer la limitante de una caja de sección de 3 metros de ancho, largo y alto -e ir jugando con este parámetro con cada generación de proyectos hasta conocer cuál dimensión es la más idónea-, esto con el fin de que las propuestas no sean demasiado grandes y representen una carga económica demasiado alta, como sucedió en la generación de proyectos de la presente investigación lo cual ocasionó una valuación del factor económico negativa. De esta forma se espera que se logren obtener más propuestas factibles para su respectiva materialización en un periodo de tiempo reducido y bajo un factor económico más considerable.

Para la consideración de materiales, se podría establecer la limitante de que un 80-90% del proyecto sea a base de piezas derivadas del cartón como lo pueden ser placas corrugadas, doble corrugadas, tubos, cajas, entre otros componentes, y un 20-10% de elementos puedan ser a elección libre de los alumnos para la unión de piezas de cartón o para otros fines específicos. De este modo se espera que, por un lado, se reduzca notablemente el peso económico que conlleva la construcción de un proyecto efímero con fines experimentales, y por otro, sea más amigable con su respectivo ciclo de vida ya que se considera que el cartón es de los materiales más cómodos de reciclar. Adicionalmente, se esperaría que la imposición de limitantes en material y tamaños de piezas incentive a los participantes en la búsqueda de soluciones más innovadoras e ingeniosas, evocando así un mayor esfuerzo para la exploración de soluciones y formas más eficaces.

Adicionalmente, hay que recordar que algunos de los aspectos negativos que se interpretaron en los resultados fue una falta de tiempo para la materialización de los proyectos. Se espera que, con el manejo e inclusión de las limitantes anteriormente comentadas, se reduzcan los esfuerzos laborales requeridos para la materialización de exploraciones efímeras y el tiempo ahora sea más adecuado para este tipo de actividades.

Finalmente, hay que recordar que mientras el prototipo *Bio-Sa* se donó a la coordinación de la licenciatura en arquitectura, el proyecto *Anticubierta* presentó un abandono de parte del equipo y se terminó reciclándose por la coordinación en arquitectura; por lo cual hay que tener cuidado con este riesgo e incluir dentro de las limitantes y parámetros para la propuesta de proyectos, las consideraciones en términos de ciclo de vida para un cierre de proyecto más sostenible.

7.3. Conclusiones sobre el diplomado

Además de comentar las observaciones más relevantes de los proyectos que fueron producto del diplomado, a continuación, se reflexionan los puntos positivos y negativos de la dinámica llevada a cabo del curso.

Hay que resaltar que uno de los beneficios más notables de haber llevado a cabo el diplomado fue que esta actividad representó una opción de titulación para los estudiantes de la carrera en arquitectura, permitiendo no sólo la experimentación para el desarrollo de una aproximación metodológica en el aprendizaje del diseño paramétrico, sino que en paralelo representó una utilidad intelectual, curricular y profesional para los alumnos de últimos semestres.

Hay que recordar que mientras se tuvieron consideraciones adicionales para diferentes escenarios -sobre todo un poco más negativos- para el módulo 5 que trató la ejecución de un proyecto, finalmente se cumplió satisfactoriamente el objetivo principal del diplomado, que buscaba propiciar la experimentación de las técnicas paramétricas al límite al trasladarlas en un enfoque ejecutivo con la fabricación de un proyecto real,

apegándose también a ciertas expectativas e intereses que se llegó a observar en el estudio de población.

A esto hay que sumar que el diplomado representó un aporte al portafolio de *Educación Continua de la Facultad de Ingeniería*, ya que ahora se cuentan con diversos productos y antecedentes documentados logrados a partir del diplomado que finalmente refuerzan la oferta educativa de este cuerpo académico.

Además de lo previamente expuesto, hay que comentar sobre los factores que influyeron para que el diplomado se ejecutara de un modo más fluido; recordando que uno de estos consistió en una planeación, organización, dirección y control cuidadoso de las dinámicas de cada módulo; se dio un seguimiento y cercanía de parte de los docentes continua a los proyectos de los alumnos con aportes, revisiones y retroalimentación continua, esto desde el primer día hasta su presentación final; del mismo modo se observó una cercanía de parte de los administrativos y directivos de la UAQ con el tema de los permisos, espacios de trabajo, el apoyo económico por medio de los equipos para corte de material, entre varios otros aspectos; adicionalmente, la organización de un evento y la formalización en la presentación de proyectos finalmente sumó para el compromiso de parte de todos, tanto docentes como alumnos; hay que recordar que la motivación de parte de los alumnos a lo largo del diplomado fue positiva -como se llegó a conocer por medio de la retroalimentación previa y la posterior-, además de que al inicio del diplomado se consideraba materializar únicamente un solo proyecto, mas al final los propios estudiantes optaron por la construcción de dos lo cual fue un efecto sumamente positivo para los alumnos, el diplomado y la presente investigación; adicionalmente la modalidad de aprendizaje mayoritariamente virtual representó ciertas ventajas, como lo fue la posibilidad de respaldar temporalmente las explicaciones de parte de los docentes por medio de la grabación de sesiones en vivo, así como la facilitación del material de trabajo por medios virtuales.

Por último, también hay que comentar las áreas de oportunidad que se observaron del diplomado; una de éstas se presenta por medio de la imposición por la contingencia sanitaria de una excesiva modalidad de aprendizaje virtual, lo cual resultó ser muy cansado en ocasiones, y mientras que este primer punto para el caso de la investigación

fue obligado por una crisis del momento, para siguientes ocasiones hay que buscar balancear la virtualidad y la presencialidad; otro punto destaca con la falta de claridad desde un principio sobre el aporte económico que los alumnos tenían que destinar para la materialización de un proyecto final, lo cual generó observaciones negativas de parte de los participantes al momento de llevar a cabo el proceso de retroalimentación ya que los alumnos no esperaban una carga económica adicional; asimismo, se observó una reducida implementación del BIM con ArchiCAD ya que la mayoría de las actividades y objetivos particulares a lo largo del diplomado se resolvieron con el manejo de las herramientas de Rhinoceros y Grasshopper, por lo que se tendrá que buscar balancear, conectar y propiciar aún más el tema del BIM, o en caso contrario, remplazar los conceptos por otros de mayor afinidad; asimismo, se presentaron dificultades técnicas para la instalación de la conexión en vivo entre Rhinoceros, Grasshopper y ArchiCAD, ya que se observaron problemas sobre todo en las plataformas MAC, aunque parte de las causas se debió a que los proveedores de las herramientas de trabajo no disponían en aquel entonces de una conexión en vivo para Rhino 7, de todas formas hay que cuidar más la resolución de los detalles técnicos para evitar así la falta de interés de parte de los alumnos por el tema, adicionalmente se podría interpretar que esta causa fue también uno de los motivos que sumaron a la pérdida del interés para la implementación del BIM en general, como se comentó en el punto previo; finalmente, mientras este punto se autorregula con la repetición de una dinámica en varias ocasiones permitiendo a cada docente ajustar su contenido, se observó cierta falta de tiempo para la ejecución de actividades en los módulos.

7.4. Consideraciones para futura implementación en la UAQ

Asimismo, si en el largo plazo se pretende la implementación del diseño paramétrico íntegro en una futura reestructuración del plan curricular de la carrera en arquitectura de la UAQ, a continuación, se hace una reflexión sobre una aproximación idónea en función de lo observado a lo largo de la investigación.

Dicho a modo de sugerencia, una aproximación ideal para continuar la implementación del diseño paramétrico en la UAQ sería seguir manteniendo una estructura por medio de un diplomado, pero también manejar un primer acercamiento al tema ya implícito desde el plan curricular de la carrera, específicamente en la rama de *Diseño y proyectos* del plan ARQ-19, por medio de una asignatura adicional que esté seriada después de la materia de *Forma y estructura*. Idóneamente, mientras que la materia de *Composición* podría generar el primer acercamiento a los alumnos para el desarrollo de competencias de exploración formal basada en conceptos de modo analógico y sin necesidad de entrar en el manejo de un software o instrumento computacional, la asignatura de *Forma y estructura* podría iniciar a generar los primeros vínculos al diseño generativo desde su dimensión epistemológica manteniendo todavía una exploración de modo analógico. Hay que recordar que en esta investigación se considera la visión del diseño generativo como la integración de dos dimensiones, la epistemológica, encargada de identificar, filtrar y abstraer la información o fuerzas del contexto implícitas en todo un sistema complejo, y la computacional, encargada de permitir al diseñador plasmar y automatizar bajo la programación de un proceso lo observado desde el contexto, esto con el fin de vincular dicha información para finalmente explotar al máximo las capacidades computacionales en función de lo previamente abstraído y plasmado.

Mientras que *Forma y estructura* se encargaría entonces de sembrar los primeros conceptos del diseño generativo en su dimensión epistemológica a modo teórico y analógico, la siguiente asignatura seriada buscaría entonces integrar lo previamente aprendido con la dimensión computacional, generando así los primeros vínculos a nuevas herramientas con el fin de permitir el desarrollo de geometrías morfofuncionales gracias a la automatización de procesos, esto con el fin de visualizar no sólo la ventaja del nacimiento de naturalezas formales fuera de lo habitual, sino el potencial de permitir también diversas optimizaciones que van desde lo económico, funcional, tiempo, visual, ambiental, entre virtualmente una infinidad de posibilidades que ofrecen cada vez más las herramientas digitales y capacidad del procesamiento computacional.

Generado el primer acercamiento al diseño generativo, si los alumnos desearían profundizar aún más el tema, podrían entonces acudir al diplomado antes de concluir la

carrera, e inclusive de esta forma, se abre la oportunidad para el diplomado de reemplazar contenido temático básico por temas más relevantes y complejos, evitando así uno de los puntos negativos observados en la retroalimentación y explotando aún más las oportunidades de la exploración formal y el empleo de técnicas más sofisticadas.

7.5. Futuras líneas de investigación

Por último, si en un futuro se pretende ampliar esta rama de la investigación, a continuación, se documentan algunas sugerencias con la finalidad de facilitar la toma de decisiones para la profundización de este tema.

Una posibilidad sería la experimentación de una aproximación metodológica con el empleo de nuevos parámetros para la propuesta de proyectos de parte de los alumnos, evitando así una libertad de diseño por medio de un mayor peso de limitantes, con el fin de obtener propuestas más ligeras, económicas, o de cierto tipo en particular que permitan observar comportamientos de interés.

Otra posibilidad sería la experimentación con un tipo de población diferente, que no sea el académico, ya que la presente investigación se adecuó al entorno de la UAQ, pero ¿qué pasaría si se genera una implementación del diseño paramétrico en profesionales del entorno laboral que llevan años trabajando?, ¿se presentarían casos de implementación en proyectos reales?, ¿se facilitaría la adopción de nuevas herramientas tecnológicas en el entorno laboral de un modo más directo?

Mientras que la presente investigación implementó el diseño paramétrico en alumnos de últimos semestres, otro punto de interés sería observar los comportamientos de estudiantes que están cursando primeros semestres, ¿qué pasaría si se implementa el aprendizaje del diseño paramétrico desde un inicio?, ¿qué impacto tendría en la naturaleza formal de proyectos de diseño arquitectónico de siguientes semestres?, ¿se provocaría una mayor variedad formal en los proyectos?, ¿cómo se desarrollaría la forma de pensar y trabajar de los alumnos?, ¿cómo beneficiaría o perjudicaría esto a la carrera?

Por último, hay que recordar que la aproximación metodológica se llevó a cabo en el contexto universitario específico de la UAQ, un entorno con un comportamiento distinto al a la situación de cada institución, por lo cual sería válido establecer relaciones al entorno educacional particular en el que se pretende llevar a cabo la implementación del diseño paramétrico, por lo mismo que otra posibilidad es la experimentación con la implementación de esta aproximación en un contexto distinto.

8. Anexos



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Yo _____, alumno (a); profesor (a); externo (a); [subrayar uno u otro] del curso de: _____, acepto de manera voluntaria que se me incluya como sujeto de estudio en el proyecto de investigación denominado: **Implementación de conceptos de composición arquitectónica paramétrica integrada de herramientas computacionales en la Universidad Autónoma de Querétaro**, luego de haber conocido y comprendido en su totalidad la información sobre dicho proyecto, riesgos si los hubiera y beneficios directos e indirectos de mi participación en el estudio, y en el entendido de que:

- Mi participación no repercutirá en mis actividades ni evaluaciones programadas en el curso, o en mi condición de profesor no repercutirá en mis relaciones con mi institución de adscripción.
- No habrá ninguna sanción para mí en caso de no aceptar la invitación.
- Puedo retirarme del proyecto si lo considero conveniente a mis intereses aun cuando el investigador responsable no lo solicite, informando mis razones para tal decisión en la Carta de Revocación respectiva si lo considero pertinente; pudiendo si así lo deseo recuperar toda la información obtenida de mi participación.
- No recibiré remuneración alguna por la participación en el estudio al ser la intención principal de éste la retroalimentación académica y científica.
- Si en los resultados de mi participación como alumno o profesor se hiciera evidente algún problema relacionado con mi proceso de enseñanza o aprendizaje, se me brindará orientación al respecto.
- Puedo solicitar en el transcurso del estudio información actualizada sobre el mismo al investigador responsable.
- También tengo acceso al Comité de Ética de la Universidad Autónoma de Querétaro en caso de que tenga una duda sobre mis derechos como participante en el estudio, al correo: ceiiuaq@gmail.com

Lugar y fecha Nombre y firma del participante

Lugar y fecha Nombre y firma del investigador

Figura 108: Carta de consentimiento informado para proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.



CARTA DE CONFIDENCIALIDAD PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente expreso que yo, **Valentyn-Vladyslav Kotsarenko** alumno de **Maestría en Arquitectura** e investigador responsable del proyecto de investigación denominado: **Implementación de conceptos de composición arquitectónica paramétrica integrada de herramientas computacionales en la Universidad Autónoma de Querétaro:**

- Se guardará estricta confidencialidad sobre los datos e información recabada obtenidos producto de su participación.
- No se divulgará la información a terceros. En caso de ser estrictamente necesario no se hará sin la previa autorización por escrito al o los participantes involucrados en el proyecto de investigación.
- Toda información recabada se manejará únicamente para los fines relacionados con la investigación y sin revelar datos personales.
- Permiso solicitar en el transcurso del estudio información actualizada sobre el mismo y la información de la investigación está disponible para quien lo solicite.
- Si en los resultados de su participación como alumno o profesor se hiciera evidente algún problema relacionado con el proceso de enseñanza o aprendizaje, se brindará orientación al respecto.
- También proporciono el contacto al Comité de Ética de la Universidad Autónoma de Querétaro en caso de que exista una duda sobre los derechos como participante en el estudio, al correo: ceiuag@gmail.com

Lugar y fecha

Nombre y firma del investigador

Figura 109: Carta de confidencialidad para proyecto de investigación. Fuente: elaboración propia.

9. Referencias

- ACCA. (s.f.). *BibLus*. Obtenido de Las dimensiones del BIM: 3D, 4D, 5D, 6D, 7D: <https://biblus.accasoftware.com/es/las-dimensiones-del-bim/>
- Al-Fedaghi, S. (2015). On a Flow-Based Paradigm in Modeling and Programming. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 6(6), 209.
- Allen, J. B. (23 de Noviembre de 2016). *Autodesk University*. Obtenido de The Future of BIM Will Not Be BIM—and It's Coming Faster than You Think: https://www.youtube.com/watch?v=xq6yKyauu-o&t=1294s&ab_channel=AutodeskUniversity
- Andrianova, G. (2014). THE SPECIFICS OF TEACHING ARCHITECTURE AT AN INTERNATIONAL CHINESE-UK UNIVERSITY. *International Journal of Arts & Sciences*, 601.
- Archistar. (s.f.). *Archistar*. Obtenido de Parametric Design vs. Generative Design – The Pros and Cons: <https://archistar.ai/blog/parametric-design-vs-generative-design-the-pros-and-cons/>
- Autodesk. (07 de Octubre de 2021). *Knowledge Network*. Obtenido de Generative Design: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/ENU/Revit-WhatsNew/files/GUID-492527AD-AAB9-4BAA-82AE-9B95B6C3E5FE-htm.html>
- Bertalanffy, L. v. (1968). *Teoría general de los sistemas*. México, D.F.: Fondo de cultura económica S.A. de C.V.
- buildingSMART. (s.f.). *buildingSMART Spain*. Obtenido de ¿Qué es BIM?: <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- Chokhachian, A. (2014). A Framework for Exploring the Role of Parametric. *Unspoken Issues in Architectural Education UIAE2014* (pág. 136). North Cyprus: ResearchGate.
- Christopher Alexander, S. I.-K. (1977). *A pattern language: towns, buildings, construction*. Nueva York: Oxford University Press.
- Cruz, D. (20 de Mayo de 2015). *ArchDaily México*. Obtenido de Monterrey: estudiantes de primer año realizan pabellón 'Bicho3' a base de experimentación paramétrica: <https://www.archdaily.mx/mx/766095/experimentacion-parametrica-bicho3>
- CUAAD. (25 de Mayo de 2016). *UDG*. Obtenido de Alumnos del CUAAD diseñan pabellón paramétrico: <https://udg.mx/es/noticia/alumnos-del-cuaad-disenan-pabellon-parametrico>
- Dana, J. D. (1844). *A system of mineralogy, comprising the most recent discoveries: with numerous wood cuts and four copper plates*. Nueva York y London: Wiley & Putnam.
- Davis, D. (06 de Agosto de 2013). *danieldavis*. Obtenido de A History of Parametric: <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>
- Fernández, M. P., & Checa, Z. J. (2014). Arquitecturas efímeras con herramientas paramétricas. *EGA Revista de Expression Grafica Arquitectonica*, 114. doi:10.4995/ega.2014.1746
- Franco, J. T. (12 de Mayo de 2015). *ArchDaily*. Obtenido de País Vasco: estudiantes construyen pabellón de cartón en base al diseño paramétrico: <https://www.archdaily.mx/mx/766718/pais-vasco-estudiantes-construyen-pabellon-de-carton-en-base-al-diseno-parametrico>

- Ganna, A. (2014). THE SPECIFICS OF TEACHING ARCHITECTURE AT AN INTERNATIONAL CHINESE-UK UNIVERSITY. *International Journal of Arts & Sciences*, 601.
- Giuseppe Gallo, G. P. (2018). Luigi Moretti, from History to parametric architecture. *Conference: 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2018*, 4,5.
- Gomez-Moriana, R. (16 de Agosto de 2012). *Criticalista*. Obtenido de Gaudí's hanging chain models: parametric design avant la lettre?: <https://criticalista.com/2012/08/16/gaudis-hanging-chain-models-parametric-design-avant-la-lettre/>
- Graphisoft. (2021). *Graphisoft*. Obtenido de Nuestra Historia: <https://graphisoft.com/es/why-graphisoft/our-story>
- Graphisoft. (2021). *Grasshopper-Archicad Live Connection 2.3 User Guide*. Obtenido de <https://help.graphisoft.com/AC/25/INT/GC.pdf>
- Graphisoft. (s.f.). *Graphisoft*. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de About BIM: https://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/about_bim/
- Gutiérrez, A. F. (Junio de 2016). *Fenómeno arquitectónico, proceso de diseño y complejidad humana : propuesta de re-conceptualización*. México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=plb1oP&v=0&d=false&t=search_0&i=1&as=0&q=humanidades
- Holland, N. (14 de June de 2011). Theses from the Architecture Program. *Inform Form Perform*, 18. Lincoln, Nebraska, Estados Unidos: University of Nebraska-Lincoln.
- Imperiale, A. (2018). *Academia*. Obtenido de An 'Other' Aesthetic: Moretti's Parametric Architecture: https://www.academia.edu/37892334/An_Other_Aesthetic_Morettis_Parametric_Architecture
- IONOS. (22 de Mayo de 2020). *Paradigmas de programación: principios básicos de programación*. Obtenido de Digitalguide: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/programacion-declarativa/>
- IONOS. (24 de Febrero de 2020). *Programación declarativa: cuando el qué es más importante que el cómo*. Obtenido de Digitalguide: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/programacion-declarativa/>
- IONOS. (23 de Marzo de 2020). *Programación imperativa: resumen del paradigma de programación más antiguo*. Obtenido de Digitalguide: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/programacion-imperativa/>
- John Kilbride, A. C. (2017). *From mystery to mastery: Unlocking the business value of Artificial Intelligence in the insurance industry*. Deloitte Digital.
- Kolarevic, B. (2003). Digital morphogenesis. En B. Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (pág. 25). Nueva York, London: Spon Press.
- Kowalski, J. (21 de Diciembre de 2016). *¿Sabes lo que es el Diseño Generativo?* Autodesk Latam. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=DkeoeNFewh8>
- Kurzweil, R. (2001). *The Law of Accelerating Returns*. Obtenido de kurzweilai: <https://www.kurzweilai.net/the-law-of-accelerating-returns>

- Leslie, J. (1821). PROP. VII. THEOR. En J. Leslie, *Geometrical Analysis, and Geometry of Curve Lines: Being Volume Second of a Course of Mathematics, and Designed as an Introduction to the Study of Natural Philosophy* (pág. 390). London: W. & C. Tait.
- Liddell, I. (2015). Frei Otto and the development of gridshells. *Case Studies in Structural Engineering 4* (2015) 39–49, 40. doi:10.1016/j.csse.2015.08.001
- Marcos, C. L. (2012). ¿Construcción o fabricación? Nueva materialidad y fabricación digital. *EGE-Expresión Gráfica en la Edificación*, 104.
- Michael J. Dawes, M. J. (2017). Christopher Alexander's A Pattern Language: analysing, mapping and classifying the critical response. *City, Territory and Architecture*, 2. doi:<https://doi.org/10.1186/s40410-017-0073-1>
- MODELAB. (2018). *The Grasshopper Primer (EN)* (Tercera ed.). MODELAB. Obtenido de <https://www.modelab.is/grasshopper-primer/>
- Moore, G. E. (2006). Progress in digital integrated electronics. En D. C. Brock, *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation* (pág. 61). Philadelphia, Pennsylvania: Chemical Heritage Foundation. Obtenido de https://www.sciencehistory.org/sites/default/files/understanding_moores_law.pdf
- Morfín, M. (11 de Septiembre de 2015). *ArchDaily*. Obtenido de Pabellón Paramétrico DIGFABMTY2.0, proyecto experimental de estudiantes mexicanos: <https://www.archdaily.mx/mx/773482/pabellon-parametrico-digfabmty-proyecto-experimental-de-estudiantes-mexicanos>
- Radziszewski, K., & Cudzik, J. (2019). Parametric design in architectural education. *World Transactions on Engineering and Technology Education* 17(4), 448.
- Robert McNeel & Associates. (4 de Diciembre de 2020). *McNeel Wiki*. Obtenido de The History of Rhino: <https://wiki.mcneel.com/rhino/rhinohistory>
- Robert McNeel & Associates. (2021). *Rhinoceros*. Obtenido de Overview: <https://www.rhino3d.com/features/#overview>
- Ruscitti, A. (2015). IMPRESION 3D, TECNOLOGÍA ABIERTA DE FABRICACIÓN DIGITAL. *Ciencia, arte y tecnología. Enfoques plurales para abordajes multidisciplinares*, 1.
- Rutten, D. (25 de Julio de 2013). *Grasshopper 3D*. Obtenido de GH's Origin?: <https://www.grasshopper3d.com/m/discussion?id=2985220:Topic:890961>
- Schumacher, P. (2008). *Parametricism as Style - Parametricist Manifesto*. Londres. Obtenido de <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>
- Stocking, A. W. (14 de Octubre de 2009). *Cadalyst*. Obtenido de Generative Design Is Changing the Face of Architecture: <https://www.cadalyst.com/cad/building-design/generative-design-is-changing-face-architecture-12948>
- SUAE. (10 de Junio de 2019). *SUAE*. Obtenido de 2019 Tongji International Construction Festival: <http://suae-casia.arch.kyushu-u.ac.jp/events/detail/18>
- SUAE. (10 de Junio de 2019). *SUAE*. Obtenido de 2019 Tongji International Construction Festival: <http://suae-casia.arch.kyushu-u.ac.jp/events/detail/18>
- Terzidis, K. (2008). AutoPLAN: a stochastic generator of architectural plans from a building program. *form•Z Joint Study Journal*, 84.

- Universidad Autónoma de Querétaro. (27 de Septiembre de 2012). PROYECTO DE CREACIÓN DE LA LICENCIATURA EN ARQUITECTURA Con líneas terminales en: Diseño Urbano, Estética del Espacio y Diseño Bioclimático. *PLANES Y PROGRAMAS DE ESTUDIO*. Santiago de Querétaro, Querétaro, México.
- Universidad Autónoma de Querétaro. (Junio de 2018). PLAN DE DESARROLLO. *Licenciatura en arquitectura 2018-2023*. Santiago de Querétaro, México.
- Universidad Autónoma de Querétaro. (Junio de 2019). Reestructuración y cambio de nomenclatura de la Licenciatura en Arquitectura. Santiago de Querétaro, Querétaro, México.
- Universidad de Granada. (29 de Octubre de 2012). *issuu*. Obtenido de Técnicas de Diseño Paramétrico: https://issuu.com/ooopart/docs/tdp1_publicacion
- Universidad de Monterrey. (2015). *UDEM*. Obtenido de Plan de Estudios 2015: https://crgs.udem.edu.mx/sites/default/files/2018-02/mapa_arq_2015.pdf
- UPV. (2021). *Plan de estudio*. Obtenido de Arquitectura Paramétrica y Fabricación Digital: https://www.ehu.eus/es/grado-fundamentos-arquitectura/creditos-y-asignaturas?p_redirect=consultaAsignatura&p_cod_proceso=egr&p_anyo_acad=20200&p_ciclo=X&p_curso=5&p_cod_asignatura=28107
- Weisstein, E. W. (2002). Parametric Equations. En E. W. Weisstein, *CRC Concise Encyclopedia of Mathematics* (pág. 2150). Boca Raton, London, New York, Washington, D.C: Chapman and Hall/CRC.
- Zexin, S., & Mei, H. (2017). Robotic form-finding and construction based on the architectural projection logic. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 216(1):012058.