

La expresión gráfica para el diseño arquitectónico y el manejo eficiente de sus recursos en el umbral entre lo analógico y lo digital

Humberto Islas Ramos ⁽¹⁾

Resumen: El dibujo como medio de expresión tradicional del arquitecto ha alcanzado a constituirse como un estándar de la comunicación no verbal en sus variables libre y técnica, además de representar un rasgo característico de la profesión. Y aunque es cierto que este hecho no ha cambiado sustancialmente en lo general, ni en los procesos de formación académica, la realidad profesional demuestra que las habilidades y destrezas para la expresión gráfica han quedado delimitadas a fases proyectivas muy específicas, o como medio complementario de la conceptualización, e incluso como recurso estrictamente explicativo.

La incorporación de nuevos flujos de trabajo apoyados en recursos digitales, ha venido a eficientar enormemente la dinámica de construcción y desarrollo de ideas de diseño, y es que a la luz de una problemática global como la crisis ambiental que agobia a nuestro planeta, el manejo eficiente de los recursos y la formación de profesionales comprometidos con la agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la UNESCO, es ya una necesidad apremiante que no se regatea ni se pone en duda.

Los sistemas BIM (*Building Information Modeling*) y la programación visual asociada a las herramientas digitales para el modelado 3D, son los referentes operativos que se analizan como parte de un entorno de diseño que demanda una reconceptualización de las bases operativas que han derivado en nuevos y más eficientes flujos de trabajo. Estos sistemas están claramente vinculados a los ODS 6,7,9,11,12,13 y 17.

La propuesta desarrolla la perspectiva de un análisis epistemológico para la formación de arquitectos, particularmente en el área de la expresión arquitectónica y de nuevos flujos de trabajo, desde una perspectiva de la sostenibilidad funcional en el desarrollo de proyectos arquitectónicos en su relación simbiótica con el medio natural.

Palabras clave: Diseño - Dibujo - Expresión gráfica - Sistemas complejos - Modelado 3D - Programación - Gestión de datos - Sustentabilidad - Enseñanza - Flujos de trabajo

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 98-99]

⁽¹⁾ **Humberto Islas Ramos** es Doctor en arquitectura por la UNAM, con maestría y licenciatura en arquitectura, también por la UNAM, cuenta además con dos diplomados, uno en Filosofía por la UNAM (2009) y otro en Aplicaciones de las TIC para la enseñanza, ambos por la UNAM (2008). Desde 1994 se ha desempeñado como docente de la carrera de arquitectura en la FES Aragón, en las áreas de Diseño, expresión y tecnología. En el posgrado

en arquitectura, también de la FES Aragón, imparte desde 2011 asignaturas en los campos de conocimiento de Diseño Arquitectónico y Tecnologías, en este mismo programa fue responsable de 2015 a 2018. Es miembro del padrón de tutores del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM desde 2010.

Actualmente, se encuentra adscrito al Centro de Investigación Multidisciplinaria Aragón como Profesor de Carrera “C” Tiempo Completo en la sub-área de expresión de la carrera de arquitectura. Es miembro fundador del Seminario Permanente de Investigación en Arquitectura del CIMA. Del Grupo Transdisciplinar de Investigación (GTI), y del Seminario Permanente de Investigación Multidisciplinaria (SPIMA). Sus líneas de investigación son: Epistemología del diseño, Sistemas complejos, Herramientas digitales para el diseño. Ha producido y publicado diversos trabajos de investigación: Integración de la agenda 2030 en proyectos de diseño, análisis de movilidad vehicular, El concepto de complejidad sistémica en la programación de procesos *Building Information Modeling*, Modelo epistemológico para formar arquitectos hacia el futuro, Sistemas de programación arquitectónica, Enseñanza de la arquitectura para una nueva era, un modelo pedagógico emergente.

Introducción

En la arquitectura los flujos de trabajo están definidos históricamente como una secuencia ordenada y lineal, diseñar, desarrollar proyecto, ejecutar, es un esquema sistematizado y perfectamente lógico, en el que cada etapa significa un conjunto de procesos en los que se involucran otros procesos, es posible llegar entonces a una categorización de las fases del desarrollo del proyecto arquitectónico en: conceptualización, formalización y materialización, estableciendo una síntesis histórica que ha operado funcionalmente por varios siglos, aun antes de que el concepto de arquitectura hubiese existido, cada una de estas fases implica un proceso de transformación en donde la relación del ser humano con su entorno se ve comprometida.

El concepto de procesos de transformación puede llegar a tener diferentes acepciones dependiendo del nivel de aproximación, en este caso, se asume como el fenómeno funcional y correlativo entre la definición de una propuesta de diseño, y el tipo y magnitud de impacto que puede llegar a tener en el medio ambiente, partiendo de la premisa de que prácticamente cualquier intervención en el medio natural implica invariablemente una modificación del estado original del entorno.

En esta revisión de las interacciones entre una forma de “hacer” y el impacto del “objeto producido” en el medio, se adopta una visión sistémica, a partir del reconocimiento de la complejidad del fenómeno del diseño como transformador del entorno natural, este cometido estará centrado en una revisión de los flujos de trabajo para el desarrollo de proyectos arquitectónicos, tanto como en la reflexión sobre el conjunto de interacciones entre el diseñador y sus dispositivos de trabajo, así como en las formas y medios para el manejo de información que permiten una interconexión conceptual en su visión del mundo.

Estos sistemas están claramente vinculados a los ODS 6, 7, 9, 11, 12, 13 y 17, a la luz de una problemática global como la crisis ambiental que agobia a nuestro planeta, el manejo eficiente de los recursos y la formación de profesionales comprometidos con la agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la UNESCO, es ya una necesidad apremiante que no se regatea ni se pone en duda.

Flujos de trabajo para el diseño arquitectónico

En la etapa de concepción, pensar el espacio y la forma significa trabajar en un campo de construcción de conceptos¹ mediante la pre configuración de una serie de imágenes, en donde intervienen mecanismos cognitivos muy específicos, para el diseñador esto representa un ejercicio de abstracción de la realidad llevada a un entorno de reconocimiento de su relación con el medio, recuperando la noción del concepto como autorreferencial, es decir, que se postula así mismo y a su objeto al mismo tiempo (Deleuze y Guattari, 1991), podemos afirmar que en la medida que el diseñador reconoce su entorno, abstrae en su pensamiento una idea pre configurada que reproduce en un plano virtual como una imagen conceptual para construir la forma de un objeto que pretende ser materializable en la realidad observada.

En esta etapa interviene como medio para la transcripción de lo imaginado la expresión gráfica, y aunque se podría suponer que el impacto directo de lo que aquí sucede sobre el medio es menor, en realidad es justo aquí donde se toman algunas de las decisiones de proyecto más importantes, la forma del edificio, los materiales, el sistema constructivo y muchos más aspectos que finalmente habrán de determinar cómo y cuánto será transformado el medio natural, no obstante, la cuantificación del impacto al medio en función del cómo se realizará ese proceso no es nada clara, ni siquiera para el propio diseñador.

La fase de conceptualización y que se vale de la expresión gráfica como un medio para exteriorizar las ideas, no significa entonces, un proceso de transformación en sí, solo si entendemos el carácter recursivo de dicho proceso de transformación como un acto directo de intervención que modifica sustancialmente y con un propósito específico. Y es que justamente ese es el propósito del diseño, resolver la necesidad de un usuario por habitar un espacio, lo cual de por sí ya implica una consideración interventiva, si se permite el término en su acepción como adjetivo, entendiendo al diseño como un medio para resolver, tanto como portador de una carga intencional, y es en este punto en donde habría que reflexionar sobre la conciencia del diseñador al momento de construir conceptualmente su propuesta, y que tanto se busca cumplir con un cometido operacional-utilitario, o se plantea como una responsabilidad de incidencia en un entorno que invariablemente será modificado.

Valdría la pena, entonces revisar como se ha transformado esta tarea que permite al diseñador no solo representar su propuesta de proyecto, sino, además conceptualizar un nivel de proyección de su trabajo hacia el entorno del emplazamiento del proyecto, y en un momento dado verificar el grado de correspondencia de su visión y la realidad ampliada

de lo que significa el medio natural, por tanto, el potencial nivel de impacto en este de su propuesta de intervención.

De lo Analógico a lo Digital

La transición de los medios analógicos a los digitales ha sido una de las evoluciones más significativas en el trabajo de los arquitectos con la utilización primigenia de bocetos, dibujos a mano y maquetas físicas para representar sus ideas, estos métodos, aunque efectivos, eran limitados en su capacidad para representar la complejidad de los sistemas arquitectónicos y facilitar su ordenamiento e incorporación en el ideario del diseño, a este respecto Jorge Sainz afirma que:

En general se puede decir que la inercia gráfica hace que los periodos homogéneos del dibujo de arquitectura sean más amplios que los de la propia arquitectura y por ello que sea difícil hablar de un dibujo “renacentista” frente a otro “barroco” comparando exclusivamente sus características gráficas (Sainz,1986).

Es por esto que al presentarse las condiciones para evolucionar en nuevas formas y medios para realizar tareas que tradicionalmente han sido encuadradas como parte de una tradición, como es el caso del dibujo, históricamente se apele a su valor estético, simbólico, emocional o identitario, como una forma de resistencia, aun ante la inminente transición de lo artesanal (analógico) a los sistemas computacionales (digital) desde hace ya más de 40 años.

Con la llegada de la informática y los programas CAD (Diseño Asistido por Computadora), los arquitectos pudieron crear representaciones más precisas y detalladas de sus proyectos. Programas como *AutoCAD* permitieron la creación de planos y dibujos en 2D de manera eficiente y con mayor precisión. La evolución posterior hacia el modelado 3D, con herramientas como *3DSMax*, *Rhinoceros* y *SketchUp*, ha permitido a los arquitectos no solo visualizar sus diseños de manera tridimensional, además han facilitado una comprensión más completa del entorno habitable.

Esta nueva dimensión de trabajo ha permitido una aproximación mucho más amplia de las interacciones sistémicas del espacio y la forma, por tanto, de su proyección recíproca hacia el pensamiento del diseñador y del diseñador hacia la realidad materializable, este agenciamiento, como lo define Deleuze: “Es una multiplicidad que comporta muchos géneros heterogéneos y que establece uniones, relaciones entre ellos” (Deleuze y Parnet,1995), también ha redimensionado las intensidades de respuesta, los entornos virtuales en el mundo digital reproducen con cada vez mayor precisión las condiciones del medio a partir de configuraciones y variables suficientemente cercanas a la realidad para una mejor comprensión del impacto del objeto arquitectónico en el medio natural.

En este sentido, el diseñador debería haber adquirido una mayor conciencia de las implicaciones que sus decisiones proyectuales tienen para la sostenibilidad, y por consecuencia, del compromiso que implica aprovechar la tecnología aplicada en el desarrollo de res-

puestas a las necesidades del usuario en función de su relación interactiva con el medio, sin embargo, este fenómeno no siempre sucede en la medida deseable, ya que en muchos casos se termina sucumbiendo ante la idealización del medio (tecnológico) como un fin para alcanzar una expresión creativa casi exclusivamente proyectiva.

No obstante, esta incorporación tecnológica también permitió significar el espacio de una manera totalmente diferente, al ubicar al observante diseñador en una posibilidad que más allá de lo visual, se proyecta en un entorno multidimensional de aproximación en campos conceptuales que hoy requieren de una valoración consecuente con los medios de procesamiento de la información, lo cual por supuesto se plantea como asunto de reconocimiento de las intrincadas estructuras sistémicas de lo habitable, así como la importancia de alcanzar a entender sus interacciones dinámicas.

Modelado Paramétrico

El modelado paramétrico ha sido otro hito en la evolución de los medios digitales en la arquitectura, herramientas como *Grasshopper*, que se ejecuta dentro de *Rhinoceros*², permiten a los arquitectos crear modelos que pueden ser fácilmente modificados mediante la configuración de parámetros, esto no solo facilita la exploración de múltiples variaciones de diseño, también permite una integración más fluida del procesamiento de datos en los flujos de trabajo del diseño y la construcción.

El diseño paramétrico se basa en algoritmos y lógica matemática para generar formas de alta complejidad geométrica y optimizar estructuras, este enfoque no solo amplía las posibilidades creativas, sino que también mejora la eficiencia en la fase de diseño y construcción, al permitir ajustes rápidos y precisos.

Es claro que en este punto nos enfrentamos ya a un flujo de trabajo en donde la habilidad cognitiva del diseñador resulta determinante, sin embargo, también queda de manifiesto la incorporación de modelos de programación que requieren, además de la comprensión matemática aplicada en secuencias y operaciones lineales, del manejo de modelos epistemológicos orientados al ejercicio del pensamiento algorítmico complementado funcionalmente por una base estructural del pensamiento heurístico, este último convencionalmente privilegiado hasta el abuso en el contexto de la noción inspiracional del diseño.

En este punto vale la pena referir el planteamiento de una visión cibersemiótica que remite a Soren Brier, citado por Carlos Vidales.

La cibersemiótica se particulariza como un proyecto de unificación conceptual que se pregunta por las bases biológicas, psíquicas y sociales de la necesidad humana y biológica del significado y la autoorganización en sus propios procesos de conocer y observar el mundo, así como en la formulación de explicaciones que sobre él se hacen (Vidales, 2023).

Y es que la incorporación tecnológica, y en particular la ciencia computacional, a los procesos de diseño sin duda apelan a una reconversión de las formas, y de los alcances op-

timizados, no obstante, la real dimensión de este fenómeno se vislumbra en el campo epistemológico conceptual al dejar visible una estructura de gran complejidad, que en el tiempo y espacio se ha transformado constantemente, pero que ahora se ha reconvertido funcional y cognitivamente, ya que los dispositivos de retroalimentación han alcanzado un punto de apoyo para la autoorganización operativa y conceptual.

Recuperando la idea base de esta disertación sobre necesidad de observar la complejidad sistémica del diseño en función del impacto al medio ambiente, es posible afirmar que los entornos de modelado 3D aplicados al diseño y la sostenibilidad ambiental como objetivo deseable, se encuentran en un permanente diálogo sinérgico, ya que las plataformas virtuales del modelado 3D permiten un diseño más eficiente, preciso y optimizado, lo que tiene implicaciones positivas para la sostenibilidad en diversas industrias, y que pueden sintetizarse en tres puntos clave:

1. **Optimización de recursos:** Los modelos 3D permiten simular y probar diseños virtualmente antes de la fabricación, reduciendo el desperdicio de materiales, tiempo y energía. Esto es esencial para un uso más eficiente de los recursos.
2. **Diseño inteligente y análisis:** Herramientas como simulaciones ambientales (energía, aerodinámica, luz natural) permiten crear productos y edificios más eficientes, minimizando el impacto ambiental y el consumo energético a lo largo de su ciclo de vida.
3. **Prototipado y fabricación:** La capacidad de crear prototipos digitales o impresos en 3D reduce la necesidad de múltiples versiones físicas, lo que disminuye el impacto ecológico asociado a la manufactura tradicional. Además, los diseños pueden ser optimizados para ser más ligeros y duraderos, extendiendo su vida útil.

Este fenómeno relacional entre la fase de concepción del diseño y el alcance de un objeto arquitectónico eficiente revela la necesidad de una reconceptualización de los fundamentos funcionales orientados a resolver, no solo de manera utilitaria directa las expectativas del ser humano por habitar el espacio, también implica una reestructuración de las bases epistemológicas para la comprensión del medio, mas allá de su dimensión física inmediata como emplazamiento.

Realidad Virtual y Aumentada

Las tecnologías de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) han llevado la visualización arquitectónica a un nuevo nivel, con VR, los arquitectos, y sobre todo los usuarios, pueden experimentar un proyecto arquitectónico en un entorno inmersivo, desplazándose virtualmente a través de los espacios del edificio antes de que sea construido, la AR permite superponer información digital sobre el mundo real, facilitando la visualización del espacio habitable en su contexto físico.

Estas tecnologías no solo mejoran la comunicación del diseño, también permiten detectar y resolver problemas antes de que se inicie la construcción, ahorrando tiempo y recursos. Por supuesto estamos hablando de un conjunto de procesos perceptuales y de dispositivos

que median la comunicación entre las ideas y el mundo real, Las ideas como producto de la intención de diseño, y también las ideas como imaginario colectivo de lo arquitectónico, y el mundo real como dimensión cognitiva que se manifiesta fenomenológicamente como un recorte de lo observable, tal y como lo define Rolando García en su planteamiento de aproximación a los sistemas complejos.

Los *hechos* son observables, interpretados. Mientras que la significación de un observable es espacial y temporalmente local, los hechos son observables relacionados en un contexto más amplio (...) Un *sistema* es una representación de un recorte de la realidad. Los elementos con los cuales se constituye ese recorte expresan abstracciones y conceptualizaciones del *material empírico* (observables, hechos, procesos) tomado del dominio de la investigación. La organización de dicho material se realiza a partir de inferencias con las cuales se vinculan los procesos que concurren al tipo de actividades que caracterizan el *funcionamiento* del sistema (García, 2006).

Este planteamiento sobre la realidad y virtualidad se aproxima a la construcción de realidades alternas que son manipulables y proyectadas en una suerte de renovada alegoría platónica del conocimiento, ya que estos dispositivos permiten proyectar imágenes cuyo objetivo se fundamenta en la expectativa idealizada del espacio habitable deseado, un observante reconfigurado sobre las capacidades del medio maquínico y que parece intentar emular la capacidad creadora de nuevos mundos.

Desarrollo de proyecto

En la fase de formalización que definimos inicialmente, y que bien se podría también denominar como de determinación, es decir, aquel momento en el desarrollo de un proyecto en el que se han tomado las decisiones en función de los criterios predefinidos, y que seguramente han incorporado al medio como un dato relevante a tomar en cuenta, sin embargo, nos encontramos con otra disyuntiva a resolver, en donde cabe cuestionar si realmente el diseñador ha considerado las variables del medio más allá de las abstracciones de lo que se conoce técnicamente como “el medio natural”, aquí nos detendremos un momento para revisar más detenidamente este fenómeno.

Tomando como referente el Plan de Estudios vigente de la carrera de arquitectura de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la UNAM³, podemos advertir un claro ejemplo de limitaciones conceptuales, al referirse al medio en tres categorías: El medio físico natural, el medio social y el medio urbano, en donde los datos a considerar para el primero solo se refieren a las condiciones físicas del clima, del emplazamiento, los recursos existentes y el paisaje natural, dejando en evidencia un reduccionismo excluyente y excesivamente abstracto.

Esta visión del medio sin duda abona a las determinaciones técnicas más elementales a considerar en el desarrollo de un proyecto ejecutivo, y es que aspectos como la orientación,

el sistema constructivo en función de la resistencia del suelo o el contexto urbano, definitivamente son relevantes como factores condicionantes.

El alumno enunciará los factores (generadores y condicionantes) que integran el PROGRAMA ARQUITECTÓNICO.

EL OBJETO del espacio-forma la función utilitaria y sus requerimientos.

EL SUJETO del espacio-forma el hombre que lo utilizará, sus características y necesidades.

EL MEDIO del espacio-forma el espacio físico y sus parámetros socioeconómicos.

EL COSTO del espacio-forma el límite de asequibilidad y la rentabilidad de la inversión.

EL TIEMPO de realización del espacio-forma (límite de espera) (FES Aragón, 1996).

En esta visión programática de los factores generadores y condicionantes, y que ciertamente tienen un fin didáctico, se reduce el concepto de medio, a un factor externo que condiciona en un sentido restrictivo las intenciones resolutivas del diseñador, colocando al objeto arquitectónico como punto de partida, aun por encima de la condición intermedia de este entre el ser humano y el medio natural.

Recuperando la revisión inicial en la evolución de los medios y formas a partir de la incorporación tecnológica, daremos continuidad a la reflexión del impacto que esta ha tenido en los flujos de trabajo, y en consecuencia del postulado de una sostenibilidad efectiva en el más estricto sentido operacional, manteniendo un equilibrio entre el crecimiento económico, la justicia social y la protección del medio ambiente, en donde invariablemente no se puede omitir la dimensión productiva o económica.

En 2018, a propósito de un análisis sobre el impacto de la tecnología en el aumento de la productividad, Robert Solow⁴ afirma que:

El crecimiento económico no solo está centrado en la función del trabajo y el capital, sino de manera muy significativa en los procesos de transformación de la materia prima de la cual se obtiene el producto o bien final, el cual puede ser consumido o invertido (Solow, 2018).

Añade Solow que en este mismo sentido, los procesos de transformación dentro de cualquier sistema productivo, colocan al progreso técnico como un factor clave de crecimiento económico, en su modelo de crecimiento neoclásico, define que para el ahorro (es decir la optimización de los recursos) es crucial la incorporación de lo que denomina “progreso técnico”, y que perfectamente podríamos traducir hoy como implementación tecnológica, es decir, el aprovechamiento de los recursos técnico-tecnológicos, ya sean herramientas digitales o los instrumentos computacionales que hoy tenemos disponibles.

A principios de la segunda década del siglo XXI Brady Peters y Xavier De Kestelier (2013) apuntan en la introducción de su contribución como editores invitados a la revista AD dedicada al trabajo computacional en la Arquitectura que:

La responsabilidad de los arquitectos reside en la aplicación de la computación en la simulación del desempeño de un edificio e incorporar ese análisis de rendimiento, conocimiento sobre materiales, estructura y parámetros de producción en sus proyectos de diseño. Este énfasis en la simulación y la predicción evoluciona a la computación de ser una simple herramienta generativa, a estar en el corazón del edificio y su desarrollo e incluso más allá en el monitoreo y evaluación de estructuras completas (Peters y De Kestelier, 2013).

Esta sentencia sobre lo que se avecinaba en los próximos años fue alcanzada y rebasada cuando el desarrollo técnico permitió el uso extensivo de los sistemas BIM (*Building Information Modeling*), que ya desde principios de este siglo habían sido concebidos como una alternativa viable para optimizar de manera integral el trabajo del diseñador. Sin embargo, no fue sino hasta que se vieron agotadas las posibilidades operativas de algunos de los sistemas CAD en la práctica, y gracias a la estandarización y homologación de protocolos de interoperatividad, que fue posible colocar en el ideario de la arquitectura el concepto de un nuevo sistema de flujo de trabajo.

En última instancia, los flujos de trabajo que utilizan hoy en día los arquitectos y diseñadores se han desplazado de los procesos secuenciales de las líneas de montaje del siglo XX, hasta aquellas que permiten la retroalimentación entre el equipo de diseño y el de proyecto en una escala de tiempo.

La adopción de BIM ha permitido nuevos flujos de trabajo más iterativos y colaborativos, y más que nunca coordinado con los procesos posteriores a la fabricación y ocupación de edificios. El proceso ya no es una operación explícita del lado del diseño; Los arquitectos están cada vez más involucrados en la fabricación y construcción de componentes, permitiéndoles ampliar el territorio y el papel tradicional del diseño de edificios (Garber, R., 2017).

Este hecho marca definitivamente un punto crucial de la evolución del hacer arquitectónico, ya que en cierta medida, valida el fenómeno de transformación de las formas de pensar la arquitectura al evidenciar cómo en el discurrir de los procesos de asimilación y práctica de lo metodológico se va conformando y consolidando una nueva plataforma epistemológica.

La programación de los procesos atendiendo a la lógica operativa de las plataformas BIM han convertido los flujos de trabajo de cualquier empresa de diseño y construcción, a diferentes escalas, en entornos adaptativos, que tal y como lo define Holland en su obra "Sistemas adaptativos complejos" (Holland, 1996), han privilegiado el valor significativo de las interacciones de los agentes por sobre las acciones mismas, lo que se define con claridad en los sistemas de programación funcional y operativa de los flujos de trabajo en la industria de la construcción y el diseño, área de oportunidad en la que los sistemas BIM han incidido de manera muy conveniente al establecer plataformas colaborativas e Inter operativas que optimizan la dinámica de trabajo, no solo agilizando y haciendo eficiente la inversión de tiempos gracias a la simultaneidad de procesos, sino de manera transversal optimizando el manejo de recursos materiales y humanos en tareas que de manera convencional e histórica han sido lineales y muchas veces restrictivas.

La capacidad de respuesta de las plataformas BIM ante la realidad operativa de sistemas de alta complejidad ha alcanzado ya una etapa de consolidación a nivel global, sin embargo, en casos muy específicos, como en algunos países de Latinoamérica, aún falta madurar en cuanto a la implementación formal, debido a desconocimiento, prejuicios tecnológicos, pero sobre todo a la falta de una cultura formativa en la actualización de conocimientos, más allá de las bases disciplinares fundamentales.

El uso de **sistemas BIM** (*Building Information Modeling*) para la sustentabilidad ambiental aporta numerosos beneficios en la planificación, diseño, construcción y operación de edificios sostenibles, de entre los que destacan los siguientes:

1. Optimización del Diseño Sostenible

BIM permite la **simulación energética** desde las primeras fases del proyecto. Se pueden realizar análisis del comportamiento térmico, eficiencia energética, iluminación natural y ventilación, lo que permite tomar decisiones informadas para **reducir el consumo energético** y mejorar el confort térmico.

2. Reducción de Residuos

Con BIM, los proyectos pueden ser planificados de manera precisa, lo que reduce la **generación de residuos** durante la construcción. Se optimiza el uso de materiales, minimizando desperdicios y permitiendo una **gestión más eficiente** de los recursos.

3. Evaluación del Ciclo de Vida (LCA)

BIM facilita la realización de un **análisis del ciclo de vida (LCA)** de los materiales y componentes utilizados en la construcción. Esto permite evaluar el impacto ambiental de cada fase, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del edificio, y seleccionar materiales más sostenibles.

4. Gestión Eficiente del Agua

Se pueden simular y planificar sistemas de **captación, uso y reutilización del agua** de manera más eficiente. Esto incluye sistemas de recolección de aguas pluviales y tratamiento de aguas grises, lo que reduce el consumo y promueve un uso responsable del recurso.

5. Simulaciones de Impacto Ambiental

BIM permite **simular el impacto ambiental** de un edificio en su entorno, incluyendo factores como el **análisis de emisiones de carbono**, niveles de ruido y contaminación del aire. Esto ayuda a mitigar impactos negativos y a diseñar con un enfoque más respetuoso con el medio ambiente.

6. Mejora en la Eficiencia Operativa

Durante la fase operativa del edificio, BIM puede integrarse con sistemas de gestión para **monitorear el consumo energético**, controlar el uso de recursos y gestionar el mantenimiento de manera eficiente, promoviendo la **reducción de la huella de carbono** a lo largo del tiempo.

7. Facilita Certificaciones Verdes

BIM puede facilitar la obtención de **certificaciones de construcción sostenible** como LEED, BREEAM o WELL. El acceso a datos detallados sobre el rendimiento energético, uso de materiales y gestión de residuos acelera el proceso de evaluación para cumplir con los criterios de sostenibilidad.

El uso de sistemas BIM no solo mejora la eficiencia y la calidad del proceso constructivo, sino que también promueve prácticas más sostenibles, ayudando a reducir el impacto ambiental en todas las fases del ciclo de vida de los edificios, lo cual puede perfectamente encuadrar en el esquema de premisas que hasta este punto se han incorporado en la revisión de los flujos de trabajo para el diseño, y que se han sometido a la reflexión en el marco de la complejidad sistémica contemporánea.

La materialización

Como ya se ha visto, el cambio de paradigmas funcionales y operativos a partir de la incorporación de herramientas tecnológicas y medios digitales, como los sistemas CAD, el modelado 3D, la programación paramétrica o los sistemas BIM han venido a contribuir enormemente en la optimización de recursos y para el logro de una mayor eficiencia en la respuesta de diseño a la resolución de necesidades del ser humano por habitar el espacio. Este fenómeno de reconfiguración de las formas y los medios para el diseño se ha ampliado naturalmente a la etapa de materialización de las ideas, al proceso constructivo en todos sus niveles, la organización, la planeación, el seguimiento, incluso el análisis post-ocupacional y la disposición final del edificio habiendo alcanzado ya su límite de vida útil, en síntesis, el concepto de ciclo de vida que ciertamente no forma parte del ideario de lo arquitectónico en muchos países latinoamericanos, en donde no es común pensar el edificio como un objeto de uso que tiene una vida útil limitada.

En ese sentido, tanto el proceso de concepción, como de definición que hemos abordado, no se encuentran desvinculados ya de un proceso que abarca literalmente todas las etapas, y que en realidad se constituye como un conjunto de procesos dentro de un sistema de interacciones procesuales, cualidad propia de los sistemas complejos.

Hablar, o mejor aún, pensar en la materialidad del objeto arquitectónico nos remite a la concepción dialógica de lo material que plantea Manuel de Landa desde la perspectiva ontológica de un materialismo no lineal, y que no se puede entender simplemente como una base física pasiva sobre la cual se construyen sistemas sociales, económicos y culturales, sino como algo dinámico, complejo y en permanente interacción con los procesos naturales y sociales, “la materia no es una sustancia pasiva y homogénea, sino un conjunto de procesos que pueden autoorganizarse en estructuras complejas” (De Landa, 1997).

La capacidad material de autoorganización a la que alude De Landa se manifiesta en el trabajo del diseñador al apelar con sus decisiones a la capacidad de la materia de interactuar con las fuerzas naturales y sociales, generando nuevas formas y estructuras, sin depender completamente de la acción humana, en este planteamiento sugiere la aparición de propiedades emergentes que manifiestan un nuevo comportamiento, y que surge de la interacción de componentes materiales, sin ser reducibles a sus propiedades individuales. Así, la expresión gráfica arquitectónica, entendida como una interfaz para la transcripción de las imágenes conceptuales, se constituye como medio de proyección de las formas abstractas hacia el mundo material en un ideal de conciencia transformadora del diseñador, que en el entorno actual representa del medio ambiente.

Uno de los grandes problemas que conducen al deterioro ambiental, es la falta de comprensión del hombre acerca de las leyes de la naturaleza, las cuales deben respetarse y no someterse a los ritmos depredadores de sus necesidades (Calcáneo, M. 2023).

Esta sentencia define el compromiso del diseño en tanto debiera conceptualizar con plena claridad las implicaciones de su interpretación del mundo natural y, en consecuencia, asumir la responsabilidad de asimilar una realidad compleja y dinámica.

Conclusiones

Ubicar al dibujo arquitectónico como un lenguaje permite crear analogías que describen la complejidad de la comunicación humana y la necesidad de observar este fenómeno en una justa dimensión de cara a una visión del mundo evolucionada y cambiante.

Cuando Ítalo Calvino⁵ propone, al aproximarse el nuevo milenio una reconstrucción del lenguaje literario, remitiéndose a la necesidad de proyectar un mensaje que proviene de la imaginación del escritor, pero que representa y significa su visión del mundo, reconoce el valor de la palabra escrita como medio de comunicación, y propone un replanteamiento de esta, ante la inminente necesidad de transmitir un nuevo tipo de información, sin embargo, siguiendo con la analogía literaria que propone Calvino, no se trata de establecer nuevas reglas para el lenguaje, tanto como una reconceptualización de las estructuras comunicativas.

Ante este escenario, en las escuelas de arquitectura, y en el propio ejercicio de la disciplina arquitectónica, se presenta ahora la oportunidad de reconocer las debilidades e inconsistencias de los mecanismos que en la práctica del diseño se aplican, pero sobre todo, de reconsiderar los principios y fundamentos, revalorando y actualizando los medios, ya que ha quedado en evidencia la urgente necesidad de una reconceptualización de contenidos, mensajes y en general de la información que suele procesarse en los sistemas de diseño.

No se trata solo de operar nuevas formas de diseñar, sino observar como el diseño tendría que reconvertirse para dar mejores respuestas, como pasar de los ideales del discurso abstracto de los métodos, a las respuestas que resuelvan problemas o necesidades del mundo real, pensando por supuesto, en un panorama que no resulta alentador para la consecución de entornos habitables en la escala humana, ya que justamente se ha perdido la dimensión de esta ante la magnitud de la respuesta de una naturaleza trastocada hasta el punto de la irracionalidad depredadora.

Y es que, aunque esta sentencia resulte dramática, no es más que una descripción de la realidad, ya que ante la inminente acometida de procesos de transformación de la naturaleza cada vez más profundos e invasivos, se revela más la necesidad de reconceptualizar los medios y los modos de incidir en el entorno, labor que los diseñadores debiéramos asumir con mucho mayor responsabilidad en el entendido que nuestras acciones construyen o destruyen la realidad compartida con los otros. Es así como la agenda 2030 ofrece una guía para reflexionar, vincular y evaluar nuestro quehacer profesional.

Notas

1. Aquí se estará refiriendo de manera recurrente el postulado que Guilles Deleuze y Félix Guattari proponen al definir como **Plano de inmanencia** el lugar de creación de conceptos. Este plano es una especie de espacio donde los conceptos existen en relación con otros, y donde se despliega el pensamiento, no es trascendental, no está más allá de la realidad; es inmanente a ella.
2. *Rhinoceros* (también conocido como Rhino) es un programa de modelado 3D ampliamente utilizado en diseño industrial, arquitectura, ingeniería y diseño gráfico. Es especialmente popular por su capacidad para crear superficies curvas complejas (modelado NURBS). Rhino permite a los usuarios diseñar desde objetos sencillos hasta geometrías extremadamente detalladas y precisas
3. FES Aragón, UNAM. (1996). Plan de estudios. Arquitectura. Carrera acreditada (Vol. 2). Nezahualcóyotl: FES Aragón, UNAM (Obtenido de <https://www.aragon.unam.mx/fes-aragon/#!/inicio>).
4. Robert Merton Solow (nacido en 1924) es un economista estadounidense conocido por sus contribuciones al estudio del crecimiento económico. En 1987 recibió el Premio Nobel de Economía por desarrollar el modelo de crecimiento de Solow, que explica cómo el progreso tecnológico y la acumulación de capital impulsan el crecimiento económico a largo plazo. Su trabajo subrayó la importancia de la tecnología como motor clave del crecimiento, más allá del simple aumento en la cantidad de capital o trabajo. Solow también ha sido profesor en el MIT y ha realizado importantes contribuciones al análisis macroeconómico
5. Calvino, Ítalo. (1985), *Seis propuestas para el próximo milenio*, Ed. Siruela, Madrid.

Referencias bibliográficas

- Calcáneo, M. G. I. y de la Cueva, B. L. (2023). *Impacto de la actividad humana en el ambiente*. Portal Académico del CCH, UNAM. <https://portalacademico.cch.unam.mx/biologia2/impacto-actividad-humana>
- Calvino, I. (1985). *Seis propuestas para el próximo milenio*. Siruela.
- De Landa, M. (2000). *A thousand years of nonlinear history*. Princeton University.
- Deleuze, G., Parnet, C. (1995). *Diálogos*. Pre-textos.
- Deleuze, G., Guattari, F. (1991). *Que es la filosofía*. Anagrama.
- De Kestelieer, X. (2013). *Computation Works: The Building of Algorithmic Thought* (B. Peters & X. De Kestelieer, Eds.; Vol. No. 222). Wiley.
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos*. Gedisa.
- Garber, R. (2017). *Digital workflows and the expanded territory of the architect*. Architectural Design, Wiley.
- Holland, J. (1996). *Sistemas adaptativos complejos*. Universidad de Michigan.
- Sainz, J. (1986). *Teoría e historia del dibujo de arquitectura: Estilo gráfico y estilo arquitectónico*. Memorias del I Congreso de expresión gráfica arquitectónica.

Solow, R. M. (2018). *La Teoría del Crecimiento: Una Exposición*. Fondo de Cultura Económica.
Vidales, C. (2003). *Hacia una teoría cibersemiótica de la comunicación*. Comunicación Social.

Abstract: Drawing as the architect's traditional means of expression has become a standard of non-verbal communication in its free and technical variables, as well as representing a characteristic feature of the profession. And although it is true that this fact has not changed substantially in general, nor in the processes of academic training, the professional reality shows that the skills and abilities for graphic expression have been limited to very specific projective phases, or as a complementary means of conceptualization, and even as a strictly explanatory resource.

The incorporation of new workflows supported by digital resources, has come to greatly streamline the dynamics of construction and development of design ideas, and in light of a global problem such as the environmental crisis that overwhelms our planet, the efficient management of resources and the training of professionals committed to the 2030 agenda and the Sustainable Development Goals proposed by UNESCO, is already a pressing need that is not haggled over or questioned.

BIM (*Building Information Modeling*) systems and visual programming associated with digital tools for 3D modeling, are the operational references that are analyzed as part of a design environment that demands a reconceptualization of the operational bases that have resulted in new and more efficient workflows. These systems are clearly linked to SDG 6,7,9,11,12,13 and 17.

The proposal develops the perspective of an epistemological analysis for the training of architects, particularly in the area of architectural expression and new workflows, from a perspective of functional sustainability in the development of architectural projects in their symbiotic relationship with the natural environment.

Keywords: Design - Drafting - Graphic expression - Complex systems - 3D modeling - Programming - Data management - Sustainability - Teaching - Workflows

Resumo: O desenho como meio de expressão tradicional dos arquitetos passou a constituir um padrão de comunicação não verbal em suas variáveis livres e técnicas, além de representar um traço característico da profissão. E embora seja verdade que esse fato não tenha mudado substancialmente em geral, nem nos processos de formação acadêmica, a realidade profissional mostra que as competências e habilidades para a expressão gráfica foram limitadas a fases projetivas muito específicas, ou como um meio complementar de conceitualização, e até mesmo como um recurso estritamente explicativo.

A incorporação de novos fluxos de trabalho, apoiados em recursos digitais, veio agilizar sobremaneira a dinâmica de construção e desenvolvimento de ideias de design e, à luz de um problema global como a crise ambiental que assola nosso planeta, a gestão eficiente de recursos e a formação de profissionais comprometidos com a agenda 2030 e com os

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela UNESCO já é uma necessidade premente que não se discute nem se questiona.

Os sistemas BIM (Building Information Modelling) e a programação visual associada a ferramentas digitais para modelagem 3D são as referências operacionais analisadas como parte de um ambiente de projeto que exige uma reconceitualização das bases operacionais que levaram a fluxos de trabalho novos e mais eficientes. Esses sistemas estão claramente vinculados aos ODS 6, 7, 9, 11, 12, 13 e 17.

A proposta desenvolve a perspectiva de uma análise epistemológica para a formação de arquitetos, especialmente na área de expressão arquitetônica e novos fluxos de trabalho, a partir de uma perspectiva de sustentabilidade funcional no desenvolvimento de projetos arquitetônicos em sua relação simbiótica com o ambiente natural.

Palavras-chave: Projeto - Desenho - Expressão gráfica - Sistemas complexos - Modelagem 3D - Programação - Gerenciamento de dados - Sustentabilidade - Educação - Fluxos de trabalho - Ensino
