



Esta obra está publicada bajo la licencia
[CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Diseño Generativo para el Centro de I+I+D de la Sede Regional de IMARPE Huanchaco

Generative Design for the R+I+D Center of the Regional Headquarters of IMARPE Huanchaco

Jhordan Renzzo Cabel Aguilera^{1,*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor correspondiente: jhordan.cabel@gmail.com (J. Cabel).

Fecha de recepción: 09 03 2023. Fecha de aceptación: 08 05 2023.

RESUMEN

Esta investigación propone la sistematización de los procesos de diseño evolutivo a través de una metodología aplicada al diseño de la sede descentralizada del Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo acuícola y de ciencias oceanográficas del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), en la cual se establece una definición del problema arquitectónico, que abarca requerimientos y restricciones, para posteriormente ser traducida en instrucciones de modificación geométrica interpretadas por un algoritmo evolutivo basado en machine learning, obteniendo así como resultado la composición volumétrica del anteproyecto, producto de la evolución de 5000 propuestas diferentes, obtenidas de forma generativa, donde el producto resultante es el mejor posible en base a las restricciones y requerimientos planteados. Este trabajo supone una base de partida para las metodologías de diseño generativo, indaga otras formas de abordar el diseño en la enseñanza de la arquitectura local y explora las posibilidades que brinda la evaluación de múltiples soluciones a un problema en particular.

Palabras clave: diseño generativo; diseño paramétrico; confort exterior; análisis urbano; optimización paramétrica evolutiva; centro de investigación; investigaciones marinas.

ABSTRACT

This research proposes the systematization of evolutionary design processes through a methodology applied to the design of the decentralized headquarters of the Center for Research, Innovation and Development of Aquaculture and Oceanographic Sciences of the Institute of the Sea of Peru (IMARPE), in which establishes a definition of the architectural problem, which covers requirements and restrictions, to later be translated into geometric modification instructions interpreted by an evolutionary algorithm based on machine learning, thus obtaining as a result the volumetric composition of the preliminary project, product of the evolution of 5000 different proposals. , obtained generatively, where the resulting product is the best possible based on the restrictions and requirements set forth. This work is a starting point for generative design methodologies, investigates other ways of approaching design in the teaching of local architecture, and explores the possibilities offered by the evaluation of multiple solutions to a particular problem.

Keywords: generative design; parametric design; outdoor comfort; urban analysis; evolutionary parametric optimization; research center; marine research.

INTRODUCCIÓN

La financiación en investigación, desarrollo e innovación es uno de los puntos más importantes dentro de las economías mundiales (Rojo et al., 2019). Es vital, en ese sentido, establecer la trascendencia de la investigación, innovación y desarrollo como potenciador de los recursos naturales abundantes en Perú, mediante el diseño de un centro de investigación.

Se plantea resolver la problemática del déficit de infraestructura de investigación y desarrollo y promover la investigación como

línea de carrera para los profesionales relacionados con las ciencias marinas y oceanográficas (Markus et al., 2018), además de promocionar las ciencias y su importancia con la población general.

El uso del diseño generativo como proceso de diseño en la presente investigación permite validar muchas más opciones de manera rápida, eficaz y asertiva con el ambiente, de manera objetiva, dejando así una mayor capacidad de decisión, que de otra manera sería restringida por opciones que son omitidas.

Esta investigación, además, pretende crear un cambio de paradigma en el proceso de diseño, que, si bien no pretende desvirtuar el modelo clásico del proceso de diseño arquitectónico (Arteta, 2017), trata de hacer visible la necesidad de apoyarse en los nuevos sistemas de creación arquitectónica, fusionándose con este; acercando de manera más transparente a la visión dialéctica y cambiante, del mundo real, le brinda el poder de la imparcialidad en la toma de decisiones de índole económico político a los proyectos, le da la rigurosidad científica y objetiva al proceso creativo, que muchas veces es desvirtuado y legitima el ingenio y la creatividad humana para enfocarla en lo que es verdaderamente relevante: imprimirle identidad, humanizar y acercar las ciencias al habitar diario.

Esta investigación servirá como antecedente en la región para futuros estudios acerca de metodologías y procesos de diseño arquitectónico en beneficio de nuestra cultura. En ese sentido, se propone la sistematización de los procesos de diseño evolutivo a través de una metodología aplicada al diseño de la sede descentralizada del Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo acuícola y de ciencias oceanográficas del IMARPE.

METODOLOGÍA

El desarrollo de la metodología de diseño propuesta consiste en el estudio preliminar del sitio (Llabres y Rico, 2014), mediante el análisis ambiental y el análisis urbano indirecto, por medio de isovistas (Turner y Penn, 1999), ambos análisis basados en procesos predictivos y paramétricos (Ladybug Tools y Decoding Spaces Toolbox respectivamente).

Posterior a dicho análisis, se desarrolla un algoritmo evolutivo de diseño, que aportará múltiples soluciones al problema de diseño (Caetano et al., 2019), para finalmente, establecer un control de calidad que validará los resultados obtenidos por el estudio del algoritmo (Costa, 2015).

Métodos

Se utilizó el modelado del sitio en el software de modelado RHINOCEROS 3D, las herramientas de análisis son el plugin de análisis ambiental Ladybug Tools y para el análisis urbano el plugin Decoding Spaces Toolbox. Como se puede observar en la Figura 1, se recogen datos como la estructura topográfica del terreno y mapas preliminares, los cuales son tratados a través de las herramientas antes mencionadas; que a su vez son la fuente para establecer los inputs o entradas para la formulación del algoritmo generativo.

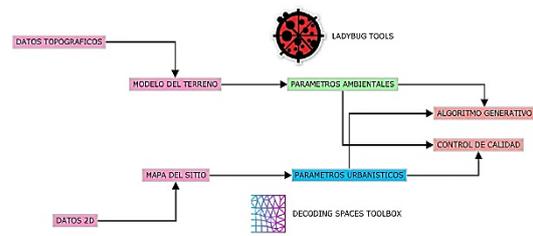


Figura 1. Esquema de la metodología del desarrollo generativo de la propuesta arquitectónica.

De esta manera, los parámetros ambientales estudiados para el proyecto fueron el nivel de radiación solar recibido sobre el terreno del proyecto, ya que se puede tener en cuenta durante el planteamiento preliminar de la arquitectura, adicionalmente a este indicador se le añade valores como el confort exterior, la dirección y velocidad del viento, el valor de la humedad relativa (Sadeghipour, 2016) (por ser un proyecto de ubicación costera), además de un análisis psicométrico como un punto de partida para el diseño de los bloques térmicos posteriores (Saura, 2003).

En relación a los datos de carácter urbanístico, principalmente se tomó en cuenta el análisis de isovistas para verificar el impacto del proyecto sobre la dinámica urbana del sector (Batty, 2001).

Entonces, el área de terreno donde se proyecta el centro de investigación es de 1.54 hectáreas, presenta niveles de radiación bastante alta debido a su cercanía al mar, la carencia de vegetación y la reflectancia del suelo del terreno (Figura 2).

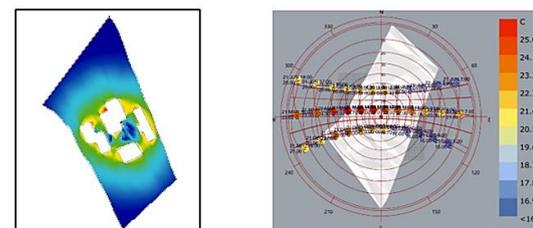


Figura 2. Análisis del Terreno.

El proceso de diseño generativo en el proyecto se subdivide en las siguientes etapas: El desarrollo del problema de diseño, que a su vez se divide en establecer una meta (el objetivo que se pretende conseguir) que al formalizarlo matemáticamente se extraigan los fitness criteria, extraer los genes de operación, definir los fitness objetivos, la selección multiobjetivo, el análisis de resultados, mediante el algoritmo generado con Wallacei Tools 2.5.5. (Makki et al., 2021), el desarrollo del proyecto y el control de calidad del proyecto, mediante algoritmos de simulación ambiental.

El desarrollo del problema de diseño se da de la siguiente manera:

Dado que los estudios climáticos y de entornos se realizaron previamente mediante simulaciones (que brinda más exactitud y objetividad) se pudo extraer la data en forma de variables e indicadores fácilmente medibles; así, el planteamiento de los primeros pasos para crear el algoritmo generativo es traducir los resultados obtenidos del análisis de clima y las condiciones del entorno en funciones matemáticas medibles y que puedan ser operados de manera objetiva por el algoritmo (Riiber, 2013).

En consecuencia, se debe trazar una meta objetivo que incluya de manera coherente los resultados antes mencionados, es así que se plantea el siguiente enunciado: "Elaborar una forma que se adapte al terreno y que respete la altura basada en la pendiente del mismo, que facilite la circulación y maximice las visuales del paisaje natural".

Al tener un modelo digital del terreno es posible realizar una proyección ortogonal del terreno sobre el plano XY sobre el cual se puede formular las ecuaciones de las curvas y localizar puntos con sus respectivos valores, de manera tal que cada cota de nivel es representada como un punto dentro de una recta con coordenadas X e Y, donde se ubicarán los bloques de edificios. Los objetivos relacionados con la altura, dependerán exclusivamente del área y forma de la geometría, en tal sentido los puntos del terreno se convierten en centros de la forma, regular para facilitar el cálculo y sus dimensiones de largo y ancho son parametrizadas en intervalos dados por el área de los bloques, obtenidas mediante el análisis de la programación arquitectónica. Con el área y la forma de los bloques es posible extrudirlos en el eje z (altura), esta extrusión debe estar controlada por dos parámetros: el número de pisos permitido y la altura por piso, en consecuencia, el número de pisos permitido viene dado por los parámetros urbanos del sector en el que se ubica el proyecto con un máximo de tres pisos y la altura de los mismos viene dada por las necesidades del proyecto, en este caso por razones prácticas se considera una altura neta de 4 metros sobre el nivel de piso terminado.

Con los modelos en tres dimensiones y con su altura respectivas se puede extraer el centro de cada geometría y medir la distancia entre cada uno, controlándolo mediante la posición en el terreno, pudiendo gestionar la posición relativa entre los bloques y de este modo su circulación tanto entre ellos como con el terreno.

Finalmente, el último objetivo consistirá en ubicar un origen en la dirección donde se encuentra el mar (el mayor potenciador de visuales del terreno) y desde allí trazar un

vector de dirección a cada bloque, en todas sus caras, de manera que, en lo posible, se tenga una visual importante desde todos los lados de la geometría.

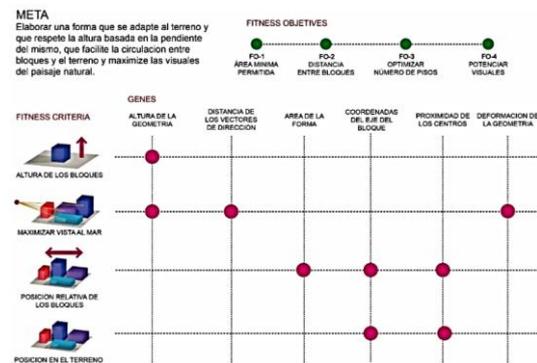


Figura 3. Matriz Genética.

La forma en que esta información se plantea, de acuerdo a la metodología propuesta; es de manera gráfica, a través de un diagrama que permita entender las relaciones entre la información, como se puede apreciar en la Figura 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez parametrizada la meta objetivo, se continúa con la selección multiobjetivo, usándose los componentes de Wallacei X, para esto se prepararon 4 algoritmos, cada uno correspondiente a un fitness objective. El FO1 corresponde a maximizar el número de pisos permitidos por la normativa local, el FO2 responde a optimizar el área de servicio por cada tipología, en este caso y como paso preliminar se ajustaron las áreas a intervalos abiertos entre las áreas del programa arquitectónico y 1.5 veces su área, de esta forma, ningún área contemplada en el programa de necesidades quedará fuera de la aleatoriedad.

El FO3 es un algoritmo que optimiza la distancia relativa entre los bloques formados y por último el FO4 que corresponde a optimizar las visuales en todos los bloques.

Para asegurar la máxima variabilidad se precisó hacer el estudio con 100 generaciones de 50 individuos cada una, obteniendo un universo de 5000 objetos de estudio.

Para facilitar los tiempos y métodos de cálculo se ajustaron los siguientes valores: una probabilidad de cruce de genes del 90 % (0.9) El parámetro de la mutación será calculado mediante $1/n$; donde n es la cantidad de casos que se acercan más a los objetivos. El índice de distribución de cruce y el índice de distribución de mutación será de 20. Con estos parámetros el componente muestra los resultados con los que trabajará antes de correr la simulación; en este caso confirma 40 genes dispuestos en sliders, la suma de los valores de los genes

resulta en 2160 números que serán reemplazados en las variables de las ecuaciones generadas por los algoritmos; lo que da un conjunto de búsqueda de 1.8×10^{14} ; la simulación se corrió en un Intel® Core™ i5-10400 CPU @ 2.90GHz 2.90 GHz.

Una vez terminada la selección multiobjetivo, se continúa con siguiente paso del proceso de diseño, que sería el análisis de resultados.

Para el análisis de resultados, una vez obtenidos los 5000 resultados, y bajo el mismo componente Wallacei se empiezan a correr los diversos análisis de datos.

Dado este punto, el análisis se dividirá en dos secciones: la primera sección se compone del estudio de los FOs a través de tres esquemas: La desviación Estándar de los FOs, un gráfico de Fitness Values y Un gráfico de tendencia de valores de FOs (Figura 4.)

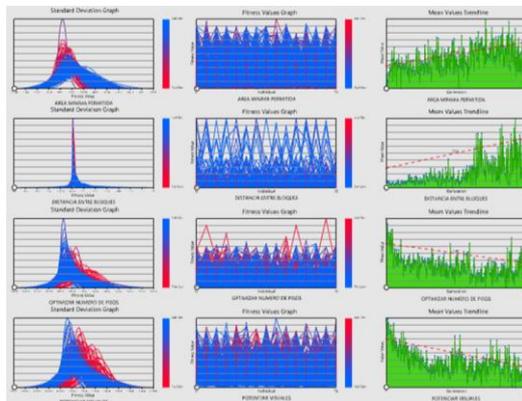


Figura 4. Análisis de FO. Gráfico de desviación estándar, Gráficos de fitness values y media línea de tendencia de valores.

La desviación estándar representa la distribución de un conjunto de valores a partir de la media. Un factor de desviación estándar bajo indica que la mayoría de los valores están ordenados cerca a la media (menor variabilidad dentro de la población), mientras que un factor de desviación estándar alto indica que los valores están más alejados de la media (mayor variabilidad dentro de la población).

El aumento de la variación se representa a través de una curva "plana", mientras que el aumento de la convergencia se representa a través de una curva "estrecha". Un desplazamiento de la curva hacia la izquierda indica un mejor rendimiento medio.

El gráfico de Desviación Estándar se calcula para cada generación en la población y traza cada generación en 3 valores a cada lado de la media. Las generaciones están coloreadas de rojo (primera generación) a azul (última generación).

El gráfico FV (Gráfico de Fitness Values) muestra los valores de aptitud para cada

solución en la población para cada objetivo de aptitud de forma independiente.

Las soluciones se muestran por generación de izquierda a derecha (el primer punto en el eje y es la primera solución en una generación, y el último punto en el eje y es la última solución en la misma generación).

El objetivo es visualizar el rendimiento de las soluciones entre sí, tanto dentro de cada generación como en toda la población.

El gráfico de línea de tendencia de valores calcula el valor de los fitness values para cada generación de la población y muestra cada valor como un punto de izquierda (primera generación) a derecha (última generación). Se crea una superficie a partir de los puntos graficados para visualizar mejor los resultados.

El objetivo es resaltar tendencias específicas en el valor medio de aptitud física de cada generación en la población. Finalmente, el gráfico muestra la "línea de tendencia", que se representa mediante una línea discontinua que calcula la variación de los valores medios a partir de la media.

La segunda sección se divide en cuatro esquemas: un análisis de diamante que evalúa las soluciones con el mayor número de coincidencias de FOs, un análisis de Pareto, también llamado de curva cerrada, con el mayor número de resultados por cada FO, un espacio objetivo, que muestra el comportamiento de las soluciones a lo largo de las generaciones; de esta manera se obtiene un número más pequeño de soluciones, donde cualesquiera cumple con las restricciones dispuestas, facilitando el tratamiento de las opciones de diseño, volviendo esta parte del proceso de diseño arquitectónico más dinámica y objetiva.

Los fenotipos de la geometría del proyecto son analizados adicionalmente mediante gráficos de diamante, donde la cercanía al centro de la curva muestra la solución de mayor eficiencia y que cumple con las restricciones planteadas en los pasos previos de la metodología de diseño (Figura 5).

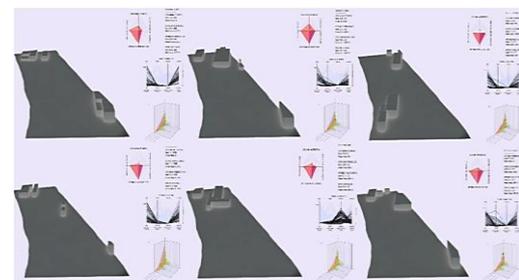


Figura 5. Selección de la solución.

Finalmente, la solución escogida pertenece al individuo 18 de la generación 16, siendo esta la que cumple con los objetivos establecidos en el algoritmo de forma cercana a la solución perfecta y formalmente ofrece

la posibilidad de otorgarle la identidad arquitectónica y de pertenencia al sitio en donde el edificio se emplaza.

Evidentemente, el resultado representa el anteproyecto, una base formal que es susceptible de ser cambiada, sin embargo, la forma obtenida responde de manera certera a lo que se busca y después del análisis exhaustivo, producto del diseño evolutivo, permite trabajar sobre seguro, reduciendo al máximo el error humano, lo que permite concentrar los esfuerzos del diseñador de realizar una buena arquitectura, que verdaderamente responde al entorno.

Una vez llegado a este punto, la metodología desarrollada propone usar la solución del proceso generativo como base del desarrollo del proyecto arquitectónico y sus especialidades; en este caso particular se usó estrategias de diseño paramétrico, de modo que genere una identidad propia en el edificio, re imaginando el movimiento del mar a modo de cubiertas seccionadas que cubren cada bloque.

Finalmente, y bajo la metodología propuesta, se realizó un control de calidad del proyecto haciendo especial énfasis en el impacto climático y de movilidad del proyecto, como se puede apreciar en la Figura 6, centrándose en el aspecto climático en el análisis de respuesta de túnel viento, cantidad de horas de radicación y confort exterior del sitio (UTCI), encontrándose que la geometría de las cubiertas, la disposición de los bloques del edificio y el control de las áreas de circulación libre permite un confort exterior mucho más controlado, validando las restricciones enfocadas en este aspecto.

En cuanto al aspecto de la movilidad se evaluó principalmente un estudio de isovistas como un análisis indirecto a la movilidad y desplazamientos (aunque no excluyente, la metodología de diseño generativo puede impulsar el análisis urbano intensivo bajo líneas del space syntax y otros modelos predictivos) (Bermejo, 2009).

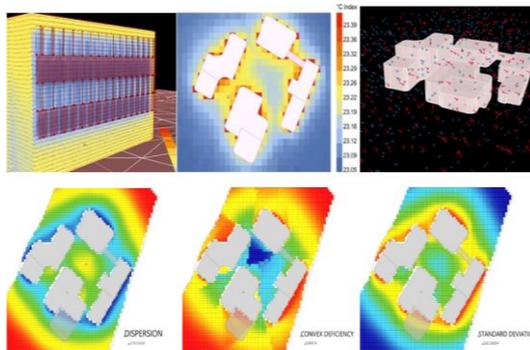


Figura 6. Control de Calidad ambiental y de movilidad.

La metodología propuesta en este trabajo ofrece un proceso flexible, dinámico y

permeable de los procesos de diseño arquitectónico, en el que los resultados basados en datos enriquece y facilita la toma de decisiones, lo que permite a los arquitectos proponer soluciones extremadamente eficientes, y les otorga más tiempo para dotar de identidad a cada una de sus obras, en donde la impronta del arquitecto, la pertinencia de la obra con el sitio y la capacidad de humanizar el hábitat sean resueltas por un ser humano, dotado de sentido común y sensibilidad.

La metodología, por su naturaleza evolutiva, es abierta y puede ser modificada para trabajar con un sinnúmero de restricciones y enfoques, desde el urbanismo predictivo del space syntax hasta el desarrollo de edificios que se conviertan en hitos arquitectónicos.

El análisis y el estudio del comportamiento urbano en el emplazamiento del proyecto puede profundizarse de ser necesario, de manera tal que no solo pueden tomarse restricciones indirectas basadas en isovistas, sino que se pueden incluir análisis de rutas, tráfico, población y demás datos que el campo puede ofrecer, la inclusión de estos datos será determinada por la necesidad de evaluarse en el proyecto y la capacidad de los mismos de enriquecer el proceso de diseño evolutivo.

La evaluación de data bioclimática como restricción debería considerarse un pilar fundamental dentro de los procesos de diseño evolutivo, debiendo ser una regla implícita de la metodología propuesta, dado que el aporte a las restricciones en el proyecto juega un papel importante para la sostenibilidad del mismo, además de ser el elemento que permita aportar a los arquitectos sus conocimientos en la lucha contra el cambio climático.

CONCLUSIONES

Aunque los procesos de diseño generativo están altamente desarrollados, la propuesta en el Perú es aún incipiente, y lo es más la divulgación y adaptación de los métodos evolutivos en el diseño, el desarrollo del proyecto de investigación descrito, propone una base de partida para las metodologías de diseño generativo, indaga otras formas de abordar el diseño en la enseñanza de la arquitectura local y explora las posibilidades que brinda la evaluación de múltiples soluciones a un problema en particular.

La metodología propuesta para el desarrollo del proyecto arquitectónico, aunque cumple con los requisitos del proyecto y ordena gran cantidad de información generada por las características del proceso evolutivo, aún tiene elementos por mejorar, tanto en análisis y control de calidad, de modo que los resultados sean

iterados y devueltos al algoritmo generativo en tiempo real, volviéndolo un proceso mucho más transparente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteta, J. (2017). *El Paradigma de la Complejidad en el Diseño Arquitectónico y Urbano. Fundamentos, teorías, proyecciones* (Tesis de doctorado). Universidad de Alcalá, España.
- Batty, M. (2001). Exploring Isovist Fields: Space and Shape in Architectural and Urban Morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(1), 123-150.
- Bermejo, J. (2009). Leyendo los espacios: una aproximación crítica a la sintaxis espacial como herramienta de análisis arqueológico. *Arqueología de la arquitectura*, (6), 47-62.
- Caetano, I., Santos, L., & Leitao, A. (2019). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *ScienceDirect*, 9(2020), 287-300.
- Costa, M. (2015). Sistemas Generativos Dinámicos. Estrategias proyectuales paramétricas simples para prácticas arquitectónicas locales. *Arquisur*, 5(8), 20-49.
- Llabres, E., & Rico, E. (2014). Proxy modelling: A tacit approach to territorial praxis. *The Journal of Space Syntax*, 5, 50-67.
- Makki, M., Showkatbakhsh, M., & Song, Y. (2021). *Wallacei X-primer*. <https://www.wallacei.com/>.
- Markus, T., Hillebrand, H., Hornidge, A., Krause, G., & Schlüter, A. (2018). Disciplinary diversity in marine sciences: the urgent case for an integration of research. *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil*, 75(2), 502-509.
- Riiber, J. (2013). *Generative processes in architectural design* (Tesis de PhD). The Royal Danish Academy of Fine Arts, Copenhagen.
- Rojo, M., Padilla-Oviedo, A., y Riojas, R. (2019). La innovación y su importancia. *Revista Científica UISRAEL*, 6(1), 9-22.
- Sadeghipour, M. (2016). *Ladybug Tools-primer*. <https://www.ladybug.tools/>.
- Saura, C. (2003). *Arquitectura y Medio Ambiente*. España: Edicions Universitat Politècnica de Catalunya.
- Turner, A., & Penn, A. (1999). Making isovists syntactic: isovist integration analysis. https://www.researchgate.net/publication/242075155_Making_isovists_syntactic_isovist_integration_analysis.