

PROPUESTA DE UN MODELO HBIM-SIG PARA EL DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍAS EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

PROPOSAL OF A MODEL (HBIM-GIS) FOR THE PATHOLOGICAL DIAGNOSIS OF ARCHITECTURAL HERITAGE

Liamnisbel Hernández Peña¹, Alessandro Merlo², Ricardo Remond Noa³,
Sergio Raymant Arencibia Iglesias⁴, Sergio Edilio Ricardo Desdín⁵

¹Universidad de La Habana. ²Università degli Studi di Firenze. ³Universidad de La Habana.
⁴Colegio San Gerónimo de la Universidad de La Habana. ⁵Grupo Empresarial GEOCUBA.



1. Facultad de Arte Teatral del Instituto Superior de Arte, La Habana. (Fuente: Geodesa). 1. Faculty of Theatre Arts - ISA (Source: Geodesa).

Palabras clave: conservación, deterioro, gestión, variables ambientales, Facultad de Arte Teatral del ISA.

La conservación del patrimonio arquitectónico constituye una prioridad y una necesidad para preservar el legado de nuestros antepasados. Es fundamental para salvaguardar la identidad cultural, el valor histórico y el desarrollo sostenible, y contribuye al bienestar de las comunidades y al enriquecimiento de la sociedad en su conjunto. El presente texto tiene como objetivo proponer un modelo HBIM-SIG que facilite la labor de diagnóstico de patologías en el patrimonio arquitectónico, así como la documentación y gestión eficiente de este, visualizados en una única plataforma que vincule datos geográficos a partir de los SIG y datos de la edificación mediante los modelos HBIM, con reconocidas ventajas en calidad, precisión, tiempo y ahorro de recursos.

Citar como: Hernández Peña, L., Merlo, A., Remond Noa, R., Arencibia Iglesias, S.R., & Ricardo Desdín, S.E. Propuesta de un modelo HBIM-SIG para el diagnóstico de patologías en el patrimonio arquitectónico. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, (37). https://doi.org/10.4995/loggia.2024.07_21926

*Texto original: español. Traducción al inglés: Anna Zoltowska.

Keywords: environmental variables, deterioration, management, conservation, ISA Faculty of Theatre Arts.

The conservation of architectural heritage is a priority and vital to preserve the heritage of our ancestors, it is essential to safeguard cultural identity, historical value and sustainable development, contributing to the welfare of communities and the enrichment of society as a whole. This research aims to propose an HBIM-GIS model to facilitate the diagnosis of pathologies in architectural heritage, as well as its documentation and efficient management, visualized in a single platform that links geographic data from GIS and building data using HBIM models, with proven advantages in quality, accuracy, time, and resource savings.

Cite as: Hernández Peña, L., Merlo, A., Remond Noa, R., Arencibia Iglesias, S.R., & Ricardo Desdín, S.E. Proposal of a model (HBIM-GIS) for the pathological diagnosis of architectural heritage. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, (37). https://doi.org/10.4995/loggia.2024.07_21926

*Original text: Spanish. English translation: Anna Zoltowska.

1. INTRODUCCIÓN

El patrimonio arquitectónico puede incluir edificios y conjuntos arquitectónicos que por sus valores históricos y culturales resultan significativos para la sociedad que les otorga el carácter de legado (Cabrera y Valiente, 2020). A través del diagnóstico de los bienes, es decir, del análisis y síntesis de la información para evaluar los problemas y la condición actual en que se encuentran en relación con su evolución en el tiempo, es posible detectar el deterioro existente como paso *sine qua non* para repararlo (Idrovo et al., 2012). Un diagnóstico adecuado permite alargar la vida útil de un bien cultural, evitando la pérdida de patrimonio construido; su salvaguardia, conservación y puesta en valor están además garantizados en todos los países por sus leyes internas y, a su vez, respaldadas por cartas internacionales.

1. INTRODUCTION

Architectural heritage can include buildings and architectural complexes of great importance to society, as their historical and cultural values award them the status of legacy (Cabrera & Valiente, 2020). Existing deterioration can be detected and remedied through diagnosis, analysing and synthesising data to assess issues in assets, as well as their current condition and evolution over time (Idrovo et al., 2012). A suitable diagnosis can extend the useful life span of a cultural asset, preventing the loss of built heritage. Furthermore, the safeguarding, conservation and enhancement of built heritage are guaranteed by the individual legislation in each country and backed in turn by international laws.

En una coyuntura de incremento constante de la demanda de restauración y rehabilitación del patrimonio arquitectónico surge la necesidad de definir herramientas de apoyo operativo y de toma de decisiones capaces de prefigurar y verificar la eficacia de las intervenciones. El aporte de las herramientas que ofrecen las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) adquiere, por lo tanto, un papel cada vez más relevante dentro del proyecto de restauración y gestión de un bien cultural tangible.

En la actualidad es posible contar con la tecnología BIM (*Building Information Modelling*), que entrelaza un modelo 3D paramétrico con una base de datos relacional (SQL) para procesar y representar información sobre un edificio de forma dinámica;¹ y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que brinda su potencial en la gestión de la información, el análisis espacial y la

In a scenario of constantly increasing demand for the restoration and rehabilitation of architectural heritage, it has become necessary to define operation and decision-making tools capable of forecasting and verifying the efficiency of interventions. The contribution of Geographic Information Technology (GIT) tools therefore plays an increasingly important role within projects for the restoration and management of tangible cultural assets. At present, BIM (Building Information Modelling) interlinks a 3D parametric model with an SQL relational database to dynamically process and represent information on a building,¹ while Geographic Information Systems (GIS) show great potential for data management, spatial analysis, and

modelación de fenómenos naturales o sociales (Flórez, 2022).

Las tareas de documentación digital del patrimonio arquitectónico requieren del manejo de muy diferentes tipos de datos, tanto geométricos o cromáticos como estructurales, históricos, culturales, etc. Los sistemas actuales de toma de datos y medición permiten obtener una enorme cantidad de información en muy poco tiempo. Sin embargo, el manejo de estos datos y, especialmente, la extracción de información que resulte realmente útil para la documentación digital de cada bien arquitectónico supone un reto de investigación importante.

A día de hoy, la vinculación de los SIG y el Modelado de Información de Edificios Históricos (HBIM) es un campo emergente que busca mejorar la gestión y conservación del patrimonio arquitectónico. En la literatura científica existen evidencias de trabajos en los

the modelling of natural and social phenomena (Flórez, 2022).

Digital documentation tasks for architectural heritage involve the treatment of a wide range of geometric and chromatic data, as well as information on structure, history, culture, etc. The current data recording and measurement systems allow large volumes of data to be obtained in a very short period of time. However, the management of these data, particularly extracting truly useful data for digitally documenting the individual architectural assets, constitutes a major challenge for research. The emerging field combining GIS and Historic Building Information Modelling (HBIM) seeks to improve the management and conservation of architectural heritage. Scientific

que se aborda esta integración HBIM-SIG, orientada a alcanzar una gestión más eficiente del patrimonio cultural, facilitando la planificación en diferentes esferas. Por ejemplo, en Valencia (España) se ha desarrollado un protocolo que sincroniza la información de la arquitectura patrimonial con la gestión del turismo cultural y la conservación preventiva (López y García, 2023); a su vez, proyectos como HBIMSIG-Turismo abordan la interoperabilidad entre SIG y HBIM para la planificación turística de destinos patrimoniales. Los proyectos mencionados buscan aplicar las utilidades de ambas tecnologías para perfeccionar la gestión y conservación de edificios históricos y el territorio donde se ubican. De mayor interés para los objetivos de este artículo son los estudios sobre la aplicación de HBIM en la generación de fichas de las manifestaciones patológicas

literature offers evidence of studies addressing this HBIM-GIS integration, which enables a more efficient management of cultural heritage, facilitating planning in different sectors. For example, in Valencia (Spain) a protocol was developed to synchronize architectural heritage data with the management of cultural tourism and preventive conservation (López & García, 2023), while projects such as HBIMSIG-Turismo focus on the interoperability of GIS and HBIM for planning tourism in heritage destinations. The projects mentioned above aim to apply the functions of both technologies, improving the management and conservation of a given historic building and the surrounding territory. Also relevant to the objectives of this article are the studies on the use of HBIM to generate fichas on pathologies

en edificios históricos y de planificación turística de destinos patrimoniales (García *et al.*, 2023). Esta vinculación favorece la interoperabilidad y el procesamiento de la información en el ámbito del patrimonio arquitectónico, y ayuda a documentar un edificio existente, registrar y monitorear la evolución del deterioro, gestionar las tareas de mantenimiento y mejorar la divulgación cultural (Salvador *et al.*, 2022).

Desde hace varios años la comunidad científico-académica se ha interesado en la aplicación integrada de las tecnologías BIM y SIG para manejar datos tanto de los edificios como del entorno espacial que los rodean (Nor Fa'aizah *et al.*, 2018). Esta integración, sin embargo, ha supuesto todo un desafío debido a las diferencias que existen entre ellas en términos de enfoque, alcance, escalas de trabajo y generación de datos, así como por la dificultad de combinar registros provenientes

found in historic buildings and planning tourism in heritage destinations (García *et al.*, 2023). This association favours the interoperability and management of data in the field of architectural heritage, aiding the documentation of existing buildings, recording and monitoring deterioration, managing maintenance tasks, and improving cultural dissemination (Salvador *et al.*, 2022).

For a number of years, the scientific-academic community has focused its interest on the integrated application of BIM and GIS technologies for the data management of buildings and their surroundings (Nor Fa'aizah *et al.*, 2018). However, this integration has been challenging due to differences in approach, scope, work scales and data generation. This is further complicated by the difficulty of combining records

de fuentes y formatos diferentes garantizando la interoperabilidad entre ellos y la complejidad técnica. Es por ello que la mayor parte de los estudios se ha volcado en el descubrimiento de nuevos formatos de datos que permitan el vínculo (Salazar Montalba, 2018; Nor Fa'aizah *et al.*, 2018; Vera, 2018), mientras que otros investigadores han concentrado sus esfuerzos en la búsqueda de nuevas metodologías y enfoques que allanen la integración de la documentación bajo un modelo de datos común que facilite la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada y su posterior tratamiento (Quintilla y Agustín, 2022; Nieto *et al.*, 2021). Sin embargo, un tercer grupo de estudios se ha centrado en el diseño de sistemas y metodologías que consigan extraer información relevante a partir de datos 2D (fotografías, termografías, imágenes

from different sources and formats guaranteeing interoperability and technical complexity. This is why most studies seek new data that can ensure this connection (Salazar Montalba, 2018; Nor Fa'aizah *et al.*, 2018; Vera, 2018), while other researchers have focused their efforts on the search for new methodologies and approaches which use a common data model to integrate documentation, facilitating interoperability, accessibility, and subsequent management of recorded information (Quintilla y Agustín, 2022; Nieto *et al.*, 2021). However, a third group of studies focuses on the design of systems and methodologies for the extraction of important information based on 2D data (photographs, thermal images, multispectral images) and 3D data (3D point clouds), taking into consideration the advantages

multiespectrales) y datos 3D (nubes de puntos tridimensionales), atendiendo a las ventajas que conlleva esta integración en una gran diversidad de campos (Hidalgo, 2018), que van más allá de los estudios de degradación de inmuebles (Orellana, 2019), al favorecer el uso más eficiente de la iluminación natural y las condiciones térmicas (Deng et al., 2016), e incluso la respuesta frente a emergencias (Flórez, 2022).

En la actualidad, con el surgimiento de las nuevas fuentes de datos masivas –*Big Data*– por medio de sensores y dispositivos, se ha acentuado el interés por la representación espacial de los datos en este campo. Estudios recientes se sirven de estas nuevas tecnologías para la gestión de datos de edificaciones (Navas, 2018). La Inteligencia Artificial (IA) ha sido otra de las aplicaciones visibles hoy en día, que se ha empleado

afforded by this integration in a wide range of fields (Hidalgo, 2018), going beyond studies on the deterioration of buildings (Orellana, 2019). A more efficient use of natural light and temperatures (Deng et al., 2016) and even emergency responses can be promoted through their use (Flórez, 2022).

At present, the appearance of Big Data using sensors and devices has led to increased interest in the spatial representation of data in this field. Recent studies have used these new technologies for building data management (Navas, 2018). Another application is the innovative use of Artificial Intelligence (AI) for the dissemination of architectural heritage (Couceiro, 2021) or the automatic recognition of forms in constructions (León, 2020). Most applications take

de forma innovadora para la difusión del patrimonio arquitectónico (Couceiro, 2021) o el reconocimiento automático de formas en las edificaciones (León, 2020). La mayoría de las aplicaciones aprovechan el *Machine Learning*, ya sea para hacer pronósticos sobre cumplimientos de plazo y coste de la planificación, o para aplicar la visión artificial en el control de la seguridad, medición de avance y productividad o detección de daños en estructuras.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En este artículo se propone un modelo que integra los datos obtenidos mediante la tecnología HBIM y la tecnología SIG para identificar las paredes y muros de las instalaciones analizadas que presentan condiciones más favorables para detectar el tipo de deterioro relacionado con las características geográficas y ambientales

advantage of Machine Learning to either carry out prognoses on timeframes, estimating planning costs, or to apply artificial vision for safety control, measuring progress and productivity, and detecting damage to structures.

2. OBJECTIVES AND METHODOLOGY

This study proposes a model integrating the data obtained using HBIM and GIS technologies in order to show the most favourable conditions within the inner and outer walls in a given construction to identify different types of deterioration directly linked to surrounding geographic and environmental characteristics. These include solar radiation, proximity to the water table, level of humidity, and temperature. Establishing a relation between these data and the geometric-

del entorno en el que se insertan (radiación solar, proximidad al nivel freático, nivel de humedad, temperatura, etc.). Vincular estos datos con la configuración geométrico-dimensional de un edificio supondría predecir la aparición de posibles problemas con cierto grado de fiabilidad y, por ende, facilitar la aplicación de medidas preventivas.

El caso de estudio para la validación de la investigación se centra en la Facultad de Arte Teatral (FAT) de la Universidad de las Artes de La Habana (Merlo y Feliciano Valenciaga, 2023) (Fig. 1), aunque el modelo diseñado para el estudio de la degradación es extrapolable a otros ámbitos y puede servir de base para otras investigaciones.

Las Escuelas de Arte de Cubanacán, también conocidas como Instituto Superior de Arte (ISA), fueron construidas a principios del triunfo de la Revolución cubana

dimensional configuration of a building makes it possible to predict the appearance of possible issues with a degree of accuracy, enabling preventive measures to be applied.

This research focuses on the case study of the Faculty of Theatre Art (FAT) at the University of the Arts in Havana (Merlo y Feliciano Valenciaga, 2023) (Fig. 1), although the study model designed to assess this deterioration can be extrapolated to other fields and used as the basis for further studies.

The Cubanacán Schools of Art, also known as Higher Institute of Art (ISA), were built in the early stages of the triumph of the Cuban Revolution, and are considered major achievements in the work of Cuban architect Ricardo Porro (Camagüey, 1925 – Paris, 2014), and of Italian architects Roberto Gottardi (Venice, 1927 - Havana, 2017)

y son consideradas una obra maestra del arquitecto cubano Ricardo Porro (Camagüey, 1925 - París, 2014) y los italianos Roberto Gottardi (Venecia, 1927 - La Habana, 2017) y Vittorio Garatti (Milán, 1927-2023). Sus ideas novedosas, impulsadas por el líder de la Revolución, Fidel Castro Ruz, se hicieron realidad con la inauguración oficial el 26 de julio de 1965 (Paradiso, 2016). En el año 1997, el complejo arquitectónico fue declarado Zona de Protección por la Comisión Nacional de Monumentos, e inscrito en el conjunto de obras emblemáticas del Movimiento Moderno de la Arquitectura en Cuba por iniciativa del Do.Co.Mo.Mo. - Cuba. En septiembre de 2019, en el marco del proyecto intergubernamental Italia-Cuba «¡Que no baje el telón! Conservación, Gestión y Puesta en Valor del Patrimonio Cultural de la Facultad de Arte teatral del ISA» (AID 11756/01/0), y contando

and Vittorio Garatti (Milan, 1927-2023). Their innovative ideas, backed by the leader of the Revolution Fidel Castro Ruz, became reality when they were officially inaugurated on 26 July 1965 (Paradiso, 2016). In 1997, the National Monuments Commission designated this architectural complex a Protected Area. On the initiative of Do.Co.Mo.Mo. - Cuba the school was added to the list of emblematic works of the Modern Movement in Cuban Architecture.

In September 2019, restoration work started anew within the framework of “¡Que no baje el telón! Conservación, Gestión y Puesta en Valor del Patrimonio Cultural de la Facultad de Arte teatral del ISA” (AID 11756/01/0). This was an intergovernmental project between Italy and Cuba, supported by the Italian

con el apoyo de la Agencia Italiana para Cooperación al Desarrollo (AICS), se reiniciaron los labores de restauración dirigidas a preservar la imagen arquitectónica y restituir la funcionalidad de la FAT, a partir de iniciativas de carácter formativo y con el manejo de las Tecnologías de la Información Geográfica.

3. INTEGRACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS HBIM-SIG PARA EL DIAGNÓSTICO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

En este apartado se propone un modelo que integra las herramientas del HBIM con los SIG para el estudio degradativo en el que se aúnan las prestaciones de ambas tecnologías. El método diseñado se resume en cinco etapas (Fig. 2):

- A) Exploración de la instalación.
- B) Cartografía del deterioro en las paredes y muros.

Agency for Cooperation Development (AICS), which aimed to preserve the architectural image and restore the FAT to operation with the help of training initiatives and using Geographic Information Technologies.

3. INTEGRATION OF HBIM-GIS TECHNOLOGIES FOR THE DIAGNOSIS OF ARCHITECTURAL HERITAGE

In this section a model is proposed to integrate HBIM and GIS tools, making use of their potential in order to study the deterioration observed. The methodology designed can be summarized in five stages (Fig. 2):

- A) Exploration of the complex.
- B) Mapping deterioration on inner and outer walls.
- C) Construction of the HBIM-GIS model.

- C) Construcción del Modelo HBIM-SIG.
- D) Inventario de signos de deterioro de la infraestructura por métodos tradicionales.
- E) Validación del modelo propuesto.

3.1. Exploración de la instalación

El modelo desarrollado parte de la exploración del área de estudio y del análisis de las condiciones ambientales del entorno. El examen inicial en el área seleccionada permitió identificar las patologías específicas que afectaban a la instalación y las variables a contemplar de acuerdo con la literatura especializada (Franceschi y Germani, 2024 y 2021; Patiño, 2012; Broto, 2006) y la opinión de los expertos.

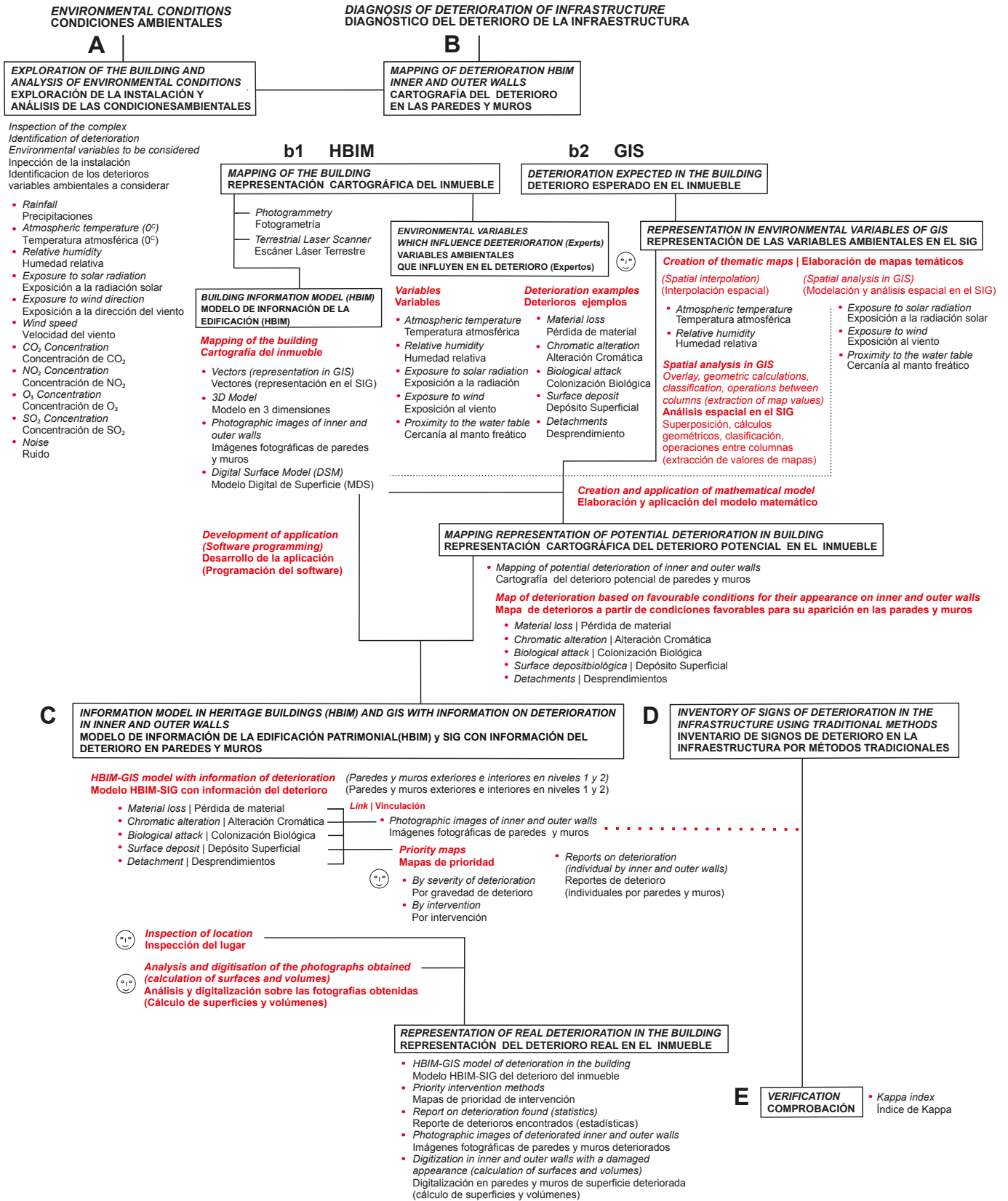
El diagnóstico del deterioro del inmueble se determinó a partir de la representación y el análisis de la influencia de las variables ambientales seleccionadas, atendiendo

- D) Inventory of signs of deterioration in the infrastructure using traditional methods.
- E) Validation of the proposed model.

3.1. Exploration of the complex

The starting point for the model created was the exploration of the study area and the analysis of surrounding environmental conditions. An initial examination of the selected area revealed the specific pathologies found in the complex and the variables to be considered based on the specialist literature (Franceschi & Germani, 2024 & 2021; Patiño, 2012; Broto, 2006) and expert opinions.

The deterioration of the building was diagnosed based on the representation and analysis of the influence of the environmental variables selected, and



CAPTION | LEYENDA

☺ Main instances in which experts intervention in deterioration / Momentos principales en los que intervienen los expertos en deterioros

A Stages of the model proposed / Etapa del modelo propuesto

2. Modelo HBIM-SIG para el diagnóstico del deterioro de inmuebles patrimoniales.
 2. HBIM-GIS model for the diagnosis of deterioration in heritage buildings.

al tipo de deterioro identificado en la exploración del inmueble, descartando aquellas que no estaban presentes y las variables ambientales que no aportaban información.

A partir de los recorridos realizados con un grupo de expertos² (véase nota al final), se identificaron cinco tipos de deterioro contenidos en la clasificación de ICOMOS (2003), utilizada como referencia (Fig. 3).

3.2. Cartografía del deterioro en las paredes y muros

En la fase preliminar de los trabajos se recopiló y analizó documentación histórica sobre el edificio, tanto publicada (Merlo y Feliciano Valenciaga, 2023) como de archivo, lo que permitió desarrollar las operaciones de reconocimiento con mayor

on the types of deterioration identified during the examination of the building, ruling out those which had not been found and environmental variables which had provided no information.

Based on the visits carried out together with a group of experts² (see endnote) to the FAT case study, five types of deterioration were identified according to the ICOMOS reference classification (2003) (Fig. 3).

3.2. Mapping deterioration on inner and outer walls

The preliminary phase of the studies consisted in the collection and analysis of historic documentation of the building, using both publications (Merlo & Feliciano Valenciaga, 2023) and archives. This made it possible to establish operations for a more in-depth examination of

entendimiento del área de estudio y del deterioro identificado.

Para la documentación morfométrico-cromática y cartográfica del conjunto de edificios y su contexto se utilizaron sensores activos y pasivos; en concreto, Escáneres Láser Terrestres (ELTs) Leica ScanStation P40, Leica ScanStation C10 y Leica RTC360 (proporcionados por la Empresa GEODESA); Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) DJI Mavic 2 Pro dotados con cámara fotográfica Hasselblad L1D-20c; y cámaras Sony Alpha 6000 con objetivo Sony E PZ 18-105 mm. El modelo 3D del edificio se creó empleando las herramientas *Scan to BIM* disponibles en el programa Autodesk Revit (Donato et al., 2021).

Para documentar gráficamente los edificios se realizaron 430 barridos láser, 4927 fotografías desde el suelo y 2031 tomas desde los VANTs. Para

the study area and the examples of deterioration identified.

Active and passive sensors were used for the morphometric-chromatic and cartographic documentation of the building complex and its context. These included the Terrestrial Laser Scanners (ELTs) Leica ScanStation P40, Leica ScanStation C10, and Leica RTC360 (supplied by the GEODESA company), DJI Mavic 2 Pro unmanned aerial vehicles (UAVs) with Hasselblad L1D-20c photographic cameras, and Sony Alpha 6000 photographic cameras with Sony E PZ 18-105 105 mm lenses. Scan to BIM tools available in Autodesk Revit software were used to create the 3D building model (Donato et al., 2021).

The buildings were documented with 430 laser sweeps, 4927 photographs taken from the ground, and 2,031 UAV

el procesamiento de la nube de puntos se empleó el *software* Leica Cyclone y para el procesamiento de las imágenes el *software* Agisoft Metashape. Tomando como base la nube de puntos, se construyó manualmente el modelo 3D que contiene los distintos elementos que conforman el objeto (fachadas, muros, etc.), asociándole las propiedades correspondientes a cada elemento para la obtención de un modelo HBIM.

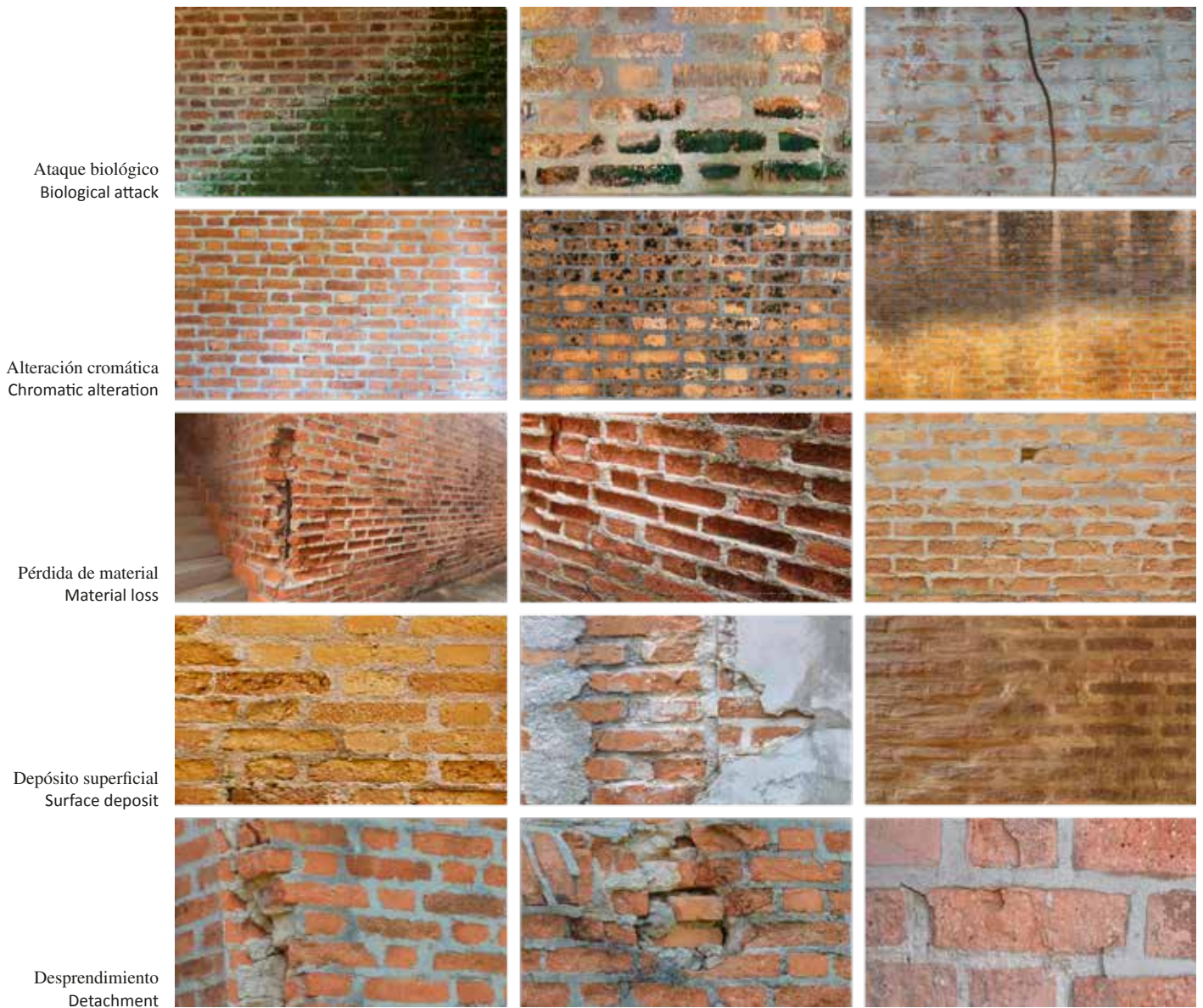
Como resultado de esta etapa, se obtuvieron cuatro productos que constituyen el punto de partida para la elaboración de otros análisis:

- Vectores de las paredes y muros de la instalación por niveles en la proyección Cartográfica Cónica Conforme de Lambert (Elipsoide 1866) (Fig. 4).
- Modelo 3D de la instalación (Figs. 5 y 6).

shots. The point cloud was processed using Leica Cyclone software while images were processed with Agisoft Metashape software. Using the point cloud as a starting point a 3D model was built manually incorporating the different elements which make up the object (façades, outer walls, etc.), and linking the relevant properties to individual elements in order to obtain an HBIM model.

This led to four products being established and serving as the basis for other analyses:

- Vectors of the inner and outer walls of the installation by level in the Lambert conformal conic projection (Ellipsoidal form 1866) (Fig. 4).
- 3D model of the installation (Figs. 5 and 6).
- Photographic images of inner and outer walls (Fig. 7).



3

- Imágenes fotográficas de paredes y muros (Fig. 7).
- Modelo digital de superficie (MDS), consistente en una imagen ráster que representa la altura del relieve más la

altura de los objetos que hay sobre este (Olaya, 2021) (Fig. 8).

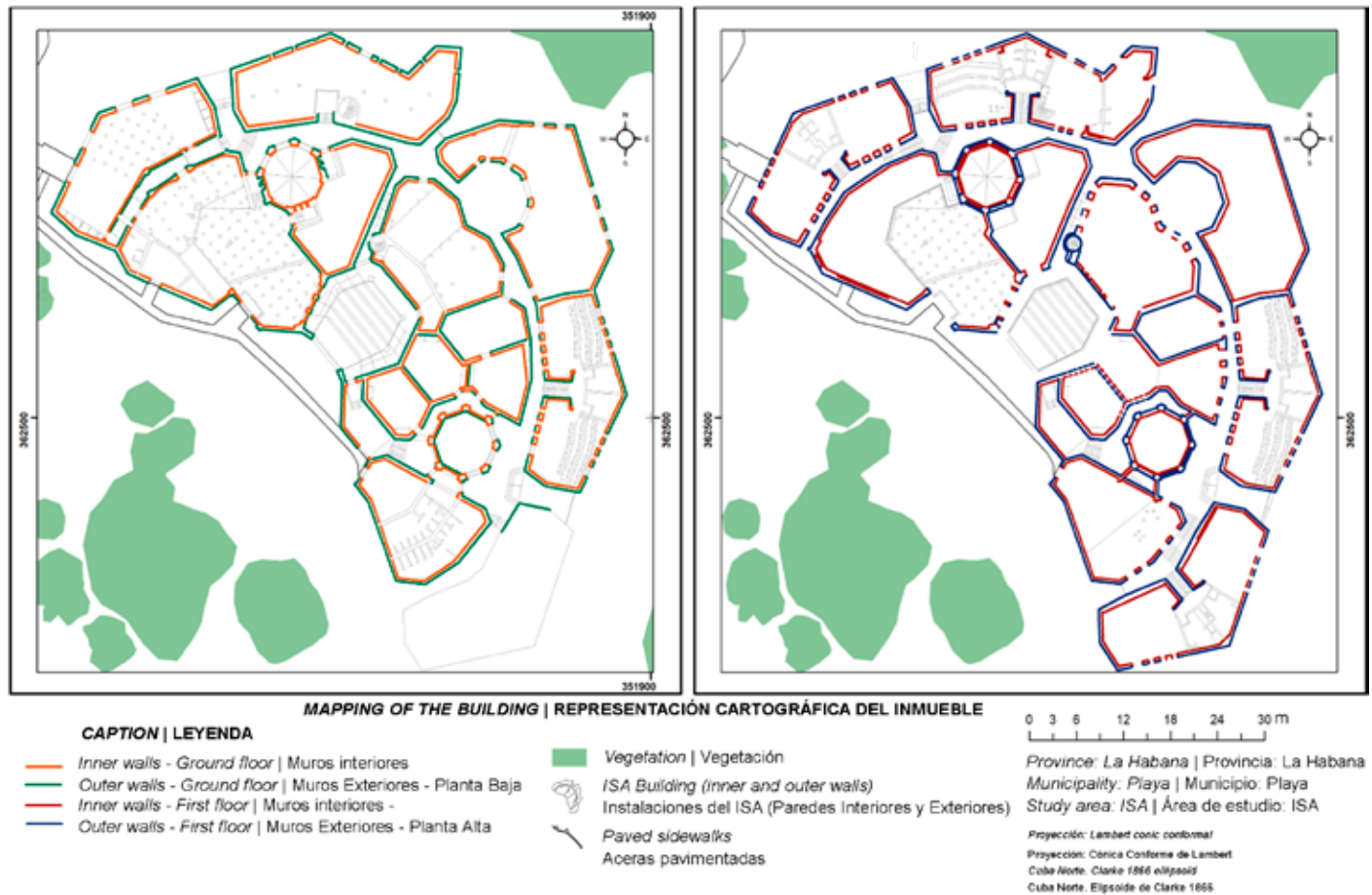
Las herramientas de análisis espacial y modelación en el SIG (*software open source* QGis, versión 8.3) fueron

- Digital Surface Model (DSM), consisting of a raster image representing relief height plus the height of objects resting on the surface (Olaya, 2021) (Fig. 8).

The GIS modelling and spatial analysis tools (QGis open source software, version 8.3) were used at different times in the proposed model. These spanned

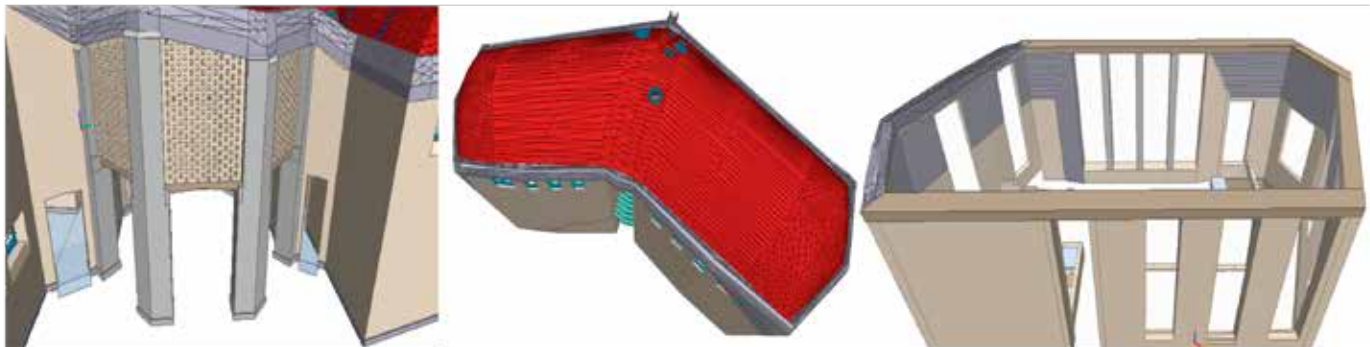
3. Ejemplos de deterioros identificados en las fotografías de paredes y muros.

3. Examples of deterioration identified in inner and outer walls.



4

5



4. Vectores de paredes y muros.
4. Vectors for inner and outer walls.

5. Modelo tridimensional BIM.
5. 3D BIM model.



6

7

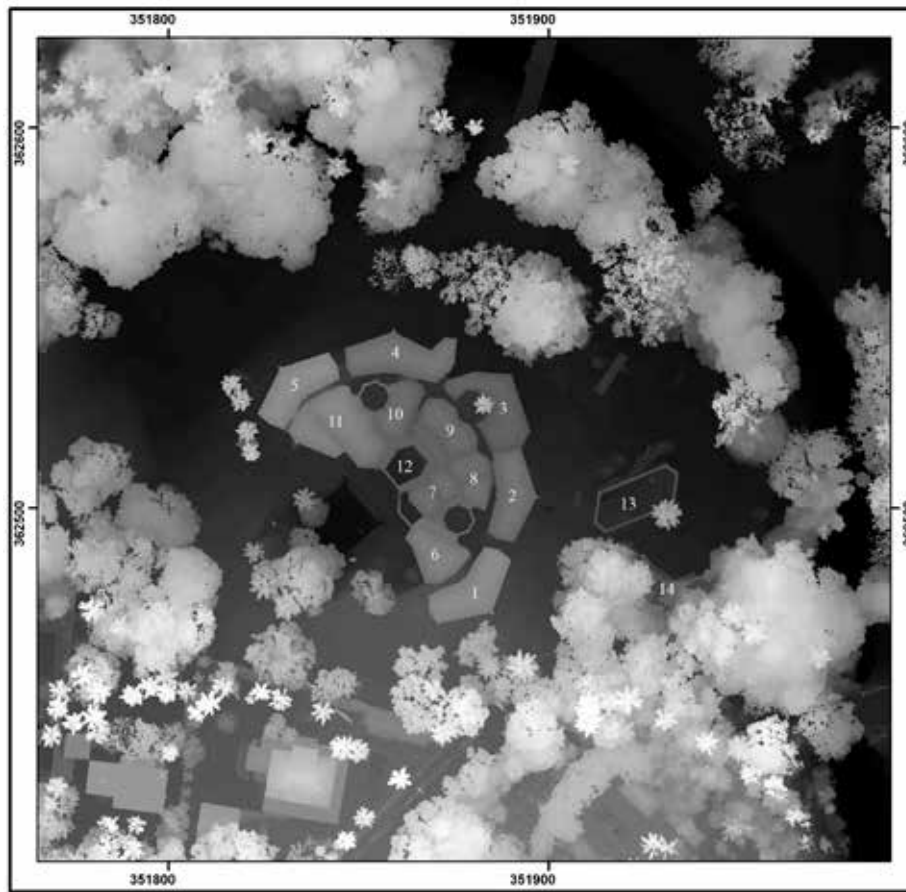


6. Modelo tridimensional fotogramétrico de la FAT.
(Fuente: Geocuba).

6. 3D photogrammetric model of the FAT (Source:
Geocuba).

7. Imágenes fotográficas de la FAT.

7. Photographic images of the FAT.

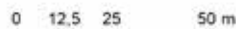


CAPTION | LEYENDA

Digital Surface Model (height of relief + objects on relief in metres)
Modelo Digital de Superficie (altura del relieve + objetos sobre el relieve en metros)



2 m 49,83 m
2 - Building | 2 - Bloque
Province: La Habana | Provincia: La Habana
Municipality: Playa | Municipio: Playa
Study area: ISA | Área de estudio: ISA



Projection: Lambert conic conformal
Cuba Norte, Clarke 1866 ellipsoid
Proyección: Cónica Conforme de Lambert
Cuba Norte, Elipsoide de Clarke 1866

empleadas en diferentes momentos del modelo propuesto: desde la construcción de los mapas temáticos de las variables humedad relativa y temperatura, resultados de la interpolación espacial en el SIG, hasta la modelación de las horas de sol y sombra que recibe cada pared y muro durante el año, resultado del empleo de las herramientas de modelación y análisis sobre modelos digitales de elevación (MDE). La tabla que se representa en la Figura 9 resume las herramientas de análisis utilizadas en cada caso para generar en el SIG la información sobre las variables ambientales.

Para la representación del deterioro potencial de cada pared o muro se elabora un modelo matemático que combina la importancia *a priori* otorgada por los expertos a cada factor ambiental para el deterioro en cuestión y la importancia de la medición (Fórmula 1).

$$Dp = Ip * Im \quad (\text{Fórmula 1})$$

en donde:

Dp: Deterioro potencial de cada pared o muro.

Ip: Importancia *a priori*: es la otorgada por los expertos de ese factor ambiental para

deterioration of each inner or outer wall, combining the importance awarded a priori by experts to each environmental factor for the type of deterioration in question and the relevance of the measurement (Formula 1).

$$Dp = Ip * Im \quad (\text{Formula 1})$$

where:

Dp: potential deterioration of each inner or outer wall.

Ip: Importance *a priori*: awarded by the experts to the given environmental factor for the type of deterioration in

the construction of the thematic maps for the variables of relative humidity and temperature resulting from spatial interpolation in the GIS, and the modelling of hours of solar exposure and shade received by each inner and outer wall throughout the year, using modelling and analysis tools on digital elevation models (DEMs). The table shown in Figure 9 provides a summary of the analysis tools used in each case to generate environmental variable data within the GIS.

A mathematical model was drawn up in order to represent the potential

8

8. Modelo digital de superficie.

8. Digital surface model.

Nombre de la variable	Herramientas para su construcción	Descripción	Nivel de representación
Humedad relativa (<i>Hr</i>)	Interpolación espacial (método de <i>kriging</i>) (Porras, 2017)	Variación espacial de la <i>Hr</i>	Niveles 1 y 2 Interiores y exteriores
Temperatura (<i>T</i>)	Interpolación espacial (método de <i>kriging</i>)	Variación espacial de la <i>T</i>	Niveles 1 y 2 Interiores y exteriores
Exposición a la radiación solar (<i>Rs</i>)	Herramientas de modelación de la radiación solar en horas	Horas de sol y sombra que reciben las paredes y muros de la instalación en los solsticios y equinoccios	Niveles 1 y 2 Interiores y exteriores
Exposición al viento (<i>Ev</i>)	Análisis espacial en mapas vectoriales (cálculo de la orientación de vectores)	Paredes y muros más expuestos según su orientación y la dirección predominante de los vientos	Niveles 1 y 2 Interiores y exteriores
Proximidad del manto freático (<i>Mf</i>)	Herramientas de superposición espacial entre los mapas temáticos	Proximidad de la superficie al nivel freático	Nivel 1 Interiores y exteriores

Name of the variable	Tools for construction	Description	Representation level
Relative humidity (<i>Hr</i>)	Spatial interpolation (kriging method) (Porras, 2017)	Spatial variation of <i>Hr</i>	Levels 1 and 2 Interior and exterior
Temperature (<i>T</i>)	Spatial interpolation (kriging method)	Spatial variation of <i>T</i>	Levels 1 and 2 Interior and exterior
Exposure to solar radiation (<i>Rs</i>)	Tools for modelling solar radiation in hours	Hours of sun and shade received by inner and outer walls of the complex on solstices and equinoxes	Levels 1 and 2 Interior and exterior
Exposure to wind (<i>Ev</i>)	Spatial analysis in vector maps (calculation of vector orientation)	Most exposed inner and outer walls based on their orientation and predominant wind direction	Levels 1 and 2 Interior and exterior
Proximity to the water table (<i>Mf</i>)	Spatial overlay tools between thematic maps	Proximity of the surface to the water table	Level 1 Interior and exterior

9. Herramientas utilizadas para la elaboración de los mapas temáticos.

9. Tools used in the creation of thematic maps.

question (represented on the ordinal scale).

Im: Importance of the measurement: value of the environmental factor for that specific wall, extracted from the GIS spatial analysis and represented on the ordinal scale.

Expert criteria were used to draw up a cause-effect matrix for the qualitative assessment of the influence of environmental factors and the direction of the correlation (Fig. 10).

The overlay tools following layer extraction provided the minimum, maximum and average values

for the distribution of individual environmental variables of the inner and outer walls of the complex. These values were subsequently classified into five intervals following the natural break or Jenks methodology, before being converted to an ordinal scale for use in the formula mentioned above.

Up until this point the results guaranteed the representation of areas with conditions more likely to show deterioration in inner and outer walls taking into consideration the influence of environmental variables. However, this had to be complemented with

data obtained from the photoplans of inner and outer walls, which required the development of an algorithm to program a computer application. This application was used to link the deterioration mapped in the inner and outer walls of each level with the images and 3D representations created with the HBIM model.

3.3. Construction of the HBIM-GIS model

This link between HBIM and GIS made it possible to combine the maps and products obtained using both

el deterioro en cuestión (representado en la escala ordinal).

Im: Importancia de la medición: es el valor del factor ambiental en ese muro, extraído del análisis espacial en el SIG y representado en la escala ordinal.

El criterio de los expertos contribuyó a confeccionar una matriz causa-efecto con la valoración cualitativa de la influencia de los factores ambientales y el sentido de la correlación (Fig. 10).

Las herramientas de superposición por extracción de capas permitieron obtener los valores mínimos, máximos y promedios en la distribución de cada variable ambiental en las paredes y muros de la instalación, valores que luego fueron clasificados en cinco intervalos teniendo en cuenta el método de

natural break o Jenks, y posteriormente convertidos a una escala ordinal para su empleo en la fórmula anterior.

Los resultados hasta aquí garantizaban la representación de las zonas con mayores condiciones para la manifestación de los deterioros en las paredes y muros teniendo en consideración la influencia de variables ambientales; sin embargo, esto debía complementarse con la información obtenida con los fotoplanos de paredes y muros, para lo cual fue necesario desarrollar un algoritmo que hizo posible la programación de una aplicación informática para vincular los mapas de deterioro en paredes y muros de cada uno de los niveles, con las imágenes y representaciones en 3D construidas con el modelo HBIM.

3.3. Construcción del Modelo HBIM-SIG

Con este vínculo entre el HBIM y el SIG se consiguió combinar en una misma plataforma los mapas y productos procedentes de ambas tecnologías. De esta manera, se pudieron optimizar los resultados del modelo matemático comprobando los deterioros presentes en cada pared o muro de acuerdo con la interpretación de los fotoplanos, resultados que permitieron obtener un mejor diagnóstico y calcular las superficies y volúmenes de las zonas deterioradas.

La Figura 11 representa el algoritmo diseñado para lograr este vínculo a través del desarrollo de una aplicación informática en la que la información

Factores ambientales	Ataque Biológico	Alteración Cromática	Pérdida de Material	Depósito Superficial	Desprendimiento
Humedad relativa (Hr)	Muy Alto Creciente	Alto Creciente	Medio Creciente	Leve Creciente	Medio Creciente
Temperatura (T)	Medio Decreciente	Bajo Creciente	Medio Creciente	Bajo Creciente	Medio Creciente
Exposición a la radiación solar (Rs)	Leve Decreciente	Bajo Decreciente	Medio Creciente	Leve Decreciente	Medio Creciente
Exposición al viento (Ev)	Alto Decreciente	Alto Creciente	Leve Decreciente	Alto Decreciente	Leve Decreciente
Cercanía del manto freático (Mf)	Muy Alto Creciente	Alto Creciente	Medio Creciente	Leve Creciente	Medio Creciente

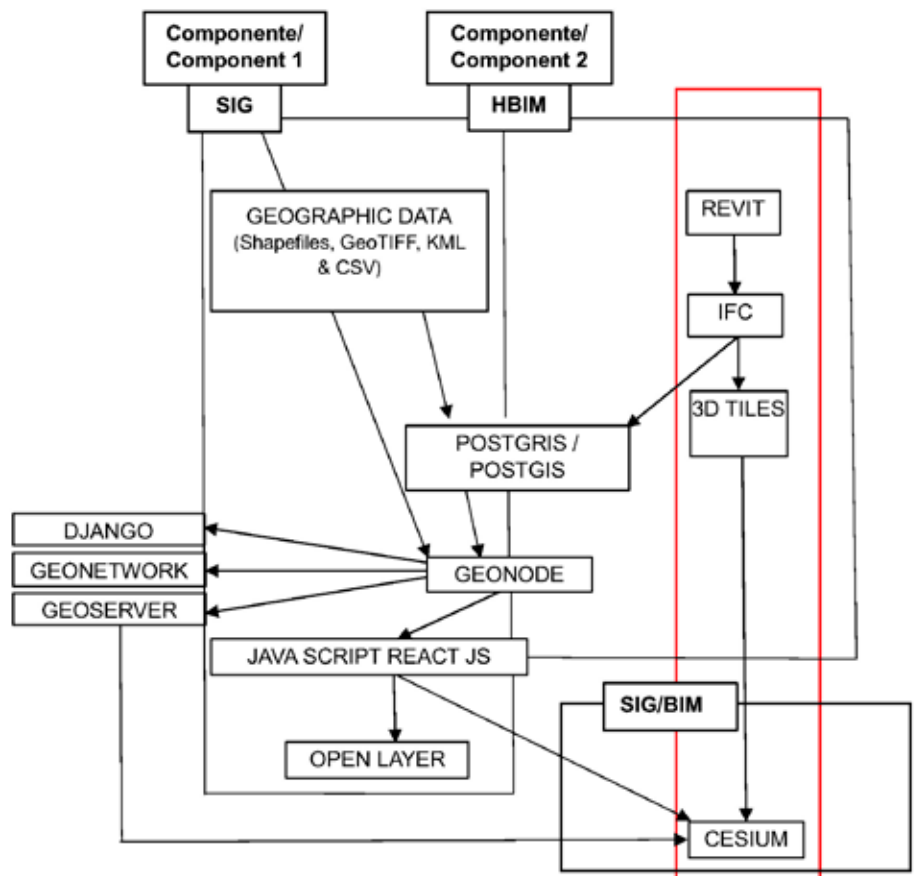
Environmental factors	Biological attack	Chromatic alteration	Material loss	Surface deposit	Detachment
Relative humidity (Hr)	Very high Increasing	High Increasing	High Increasing	Slight Increasing	Medium Increasing
Temperature (T)	Medium Decreasing	Low Increasing	Medium Increasing	Low Increasing	Medium Increasing
Exposure to solar radiation (Rs)	Slight Decreasing	Low Decreasing	Medium Increasing	Slight Decreasing	Medium Increasing
Exposure to wind (Ev)	High Decreasing	High Increasing	Slight Decreasing	High Decreasing	Slight Decreasing
Proximity to the water table (Mf)	Very high Increasing	High Increasing	Medium Increasing	Slight Increasing	Medium Increasing

10. Descripción de la matriz causa-efecto.

10. Description of cause-effect matrix.

geográfica puede inicialmente estar en varios formatos (Shapefiles, GeoTIFF, KML y CSV, etc.), y posteriormente se agrega en un sistema de base de datos geoespaciales en la web distribuidos de tal manera que facilite su consulta por plataformas o aplicaciones en la nube. Para ello se emplea el *software* de terceros llamado GeoNode, que permite el manejo de datos espaciales mediante tecnologías GeoServer, GeoNetwork y PostgreSQL/PostGIS.

La aplicación desarrollada, llamada SIGEDPA «Sistema para la Gestión y Diagnóstico del Patrimonio Arquitectónico», permite insertar los datos sobre las propiedades de la edificación (longitud, anchura, altura, material, etc.) e información geográfica (ubicación local y



11. Esquema del algoritmo para la vinculación de los datos del SIG y HBIM.

11. Diagram of algorithm for linking GIS and HBIM data.

technologies on a single platform. The results from the mathematical model were thus optimized, confirming the deterioration found on individual inner and outer walls by interpreting photoplans. This in turn allowed a better diagnosis to calculate the surfaces and volumes of the deteriorated areas.

Figure 11 presents the algorithm designed to obtain this correlation through the development of a computer application in which geographic information initially found in several formats (Shapefiles, GeoTIFF, KML and CSV, etc.) is subsequently added to a web geospatial database system in order to facilitate its consultations on platforms or cloud applications. This requires the use of GeoNode third party software to manage spatial data

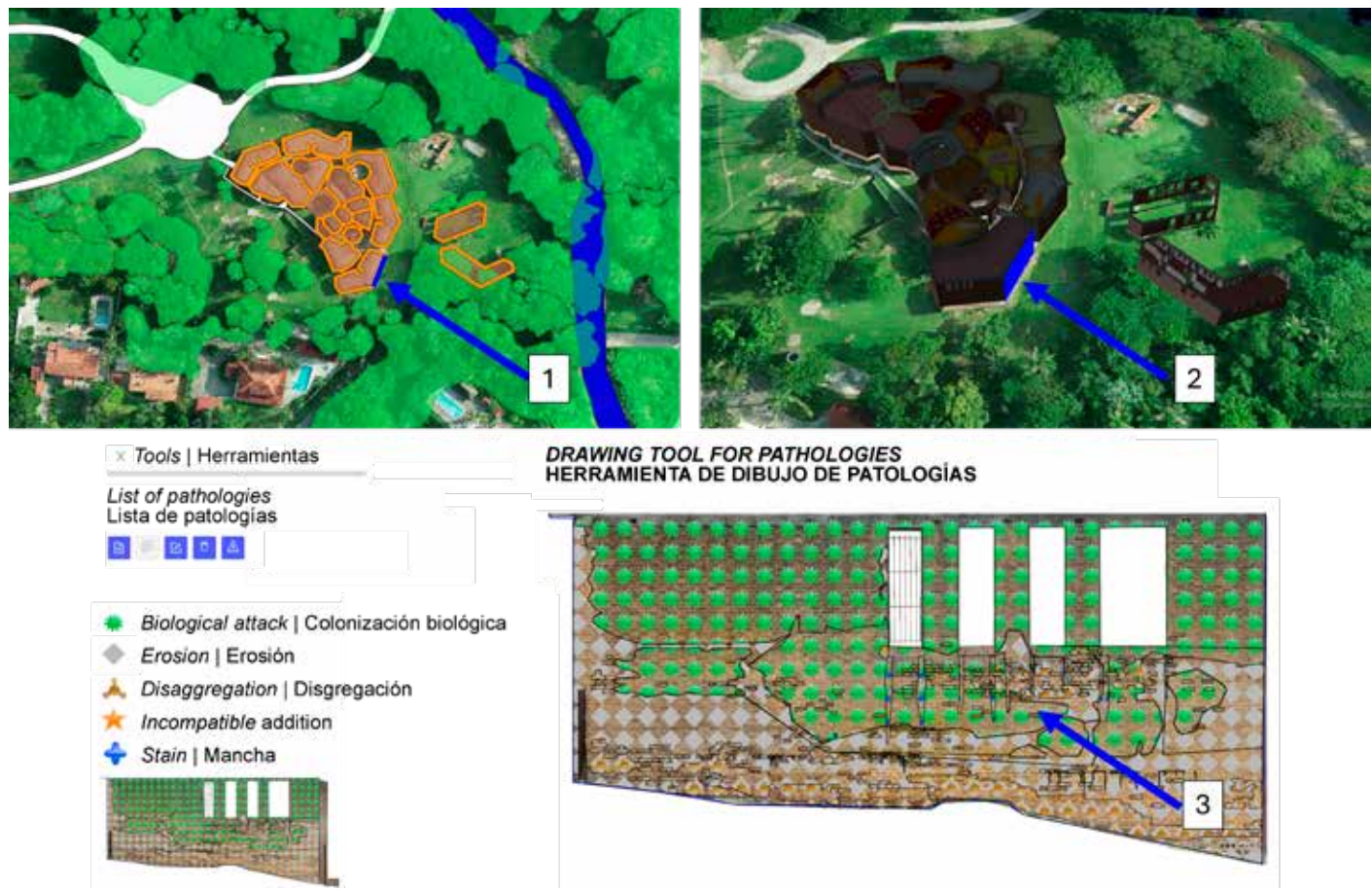
through GeoServer, GeoNetwork and PostgreSQL/PostGIS technologies.

The application developed, SIGEDPA (“System for the Management and Diagnosis of Architectural Heritage”), based on GeoNode functionalities, provides data entries on the properties of the building (length, width, height, material, etc) and geographic information (location and geometric representation), incorporating videos, photographs, questions on the properties of the volumes and other calculations based on stored data, using an intuitive user interface.

One of the main advantages of this is the improvement on the initial GIS results obtained, linking individual inner or outer walls to photoplans where examples of deterioration are digitized. Other deterioration which is not the direct result of the environmental variables but of anthropic action, and which can be seen in the photoplans, can be added to this diagnosis.

3.4. Verification of results

Encouraged by the project “¡Que no baje el telón!” traditional data collection methods were used to



representación geométrica), incorporar videos, fotografías, consultas sobre las propiedades de las entidades y otros cálculos a partir de los datos almacenados, usando una interfaz de usuario intuitiva.

Una de sus principales ventajas es que mejora los resultados iniciales obtenidos en el SIG, al poder enlazar

cada pared o muro con los fotoplanos y la digitalización de los deterioros sobre estos, además de poderse adicionar al diagnóstico otros deterioros que no son resultado directo de la influencia de las variables ambientales, sino de la acción antrópica y que son visibles en los fotoplanos.

compile parallel information on the different pathologies on the inner and outer walls of the building. These data were subsequently used to verify the proposed model using the Kappa index (De Ullibarri & Pita, 1999).

The calculation of this index first required the creation of a binary database where individual inner and

outer walls contained information on the deterioration diagnosed, as a result of the proposed model linking HBIM-GIS technologies and an expert survey of deterioration carried using traditional methods. The results of this comparison and the limitations of the proposal will be examined in the following section.

12. Representación del deterioro en paredes y muros, modelo HBIM-SIG.

12. Representation of deterioration on inner and outer walls, HBIM-GIS model.

3.4. Comprobación de los resultados

Auspiciado por el proyecto «¡Que no baje el telón!», paralelamente se recopiló información sobre las manifestaciones de las diferentes patologías en las paredes y muros del inmueble por métodos tradicionales, de cara a la comprobación del modelo propuesto a través del índice de Kappa (De Ullibarri y Pita, 1999).

Para el cálculo de este índice fue necesaria previamente la confección de una base de datos binaria en la que cada pared o muro contiene información del deterioro diagnosticado, resultado del modelo propuesto que vincula las tecnologías HBIM-SIG y el levantamiento del deterioro realizado por los expertos siguiendo métodos tradicionales. Los resultados de esta comparación y las limitaciones de la propuesta serán comentados en el siguiente apartado.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Results obtained in this stage include the spatial representation of the individual examples of deterioration studied (Figs. 12, 13, 14, 15, 16 and 17). Broadly speaking, the most favourable conditions for the appearance of deterioration can be expected in the outer walls of levels 1 and 2 of the complex, and are more prominent in those oriented to the Northeast, with higher humidity, fewer hours of solar exposure during the year, and greater proximity to the water table. Condensation and rising damp favour the proliferation of organisms including cyanobacteria, algae, lichens and moss in brick as a result of these conditions. The verification of the model proposed using the Kappa index (Figs. 18 and 19)

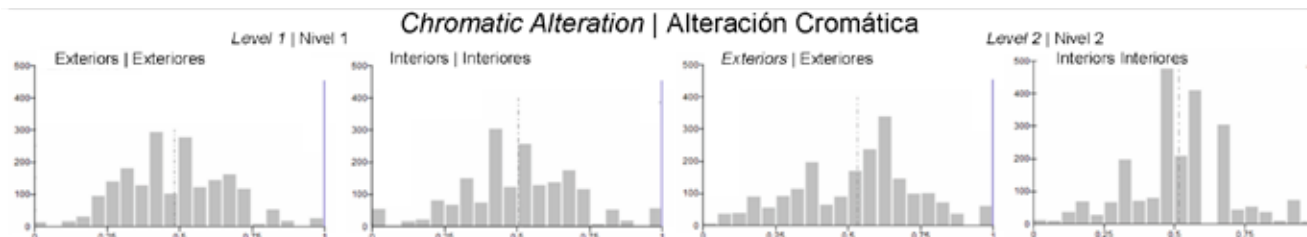
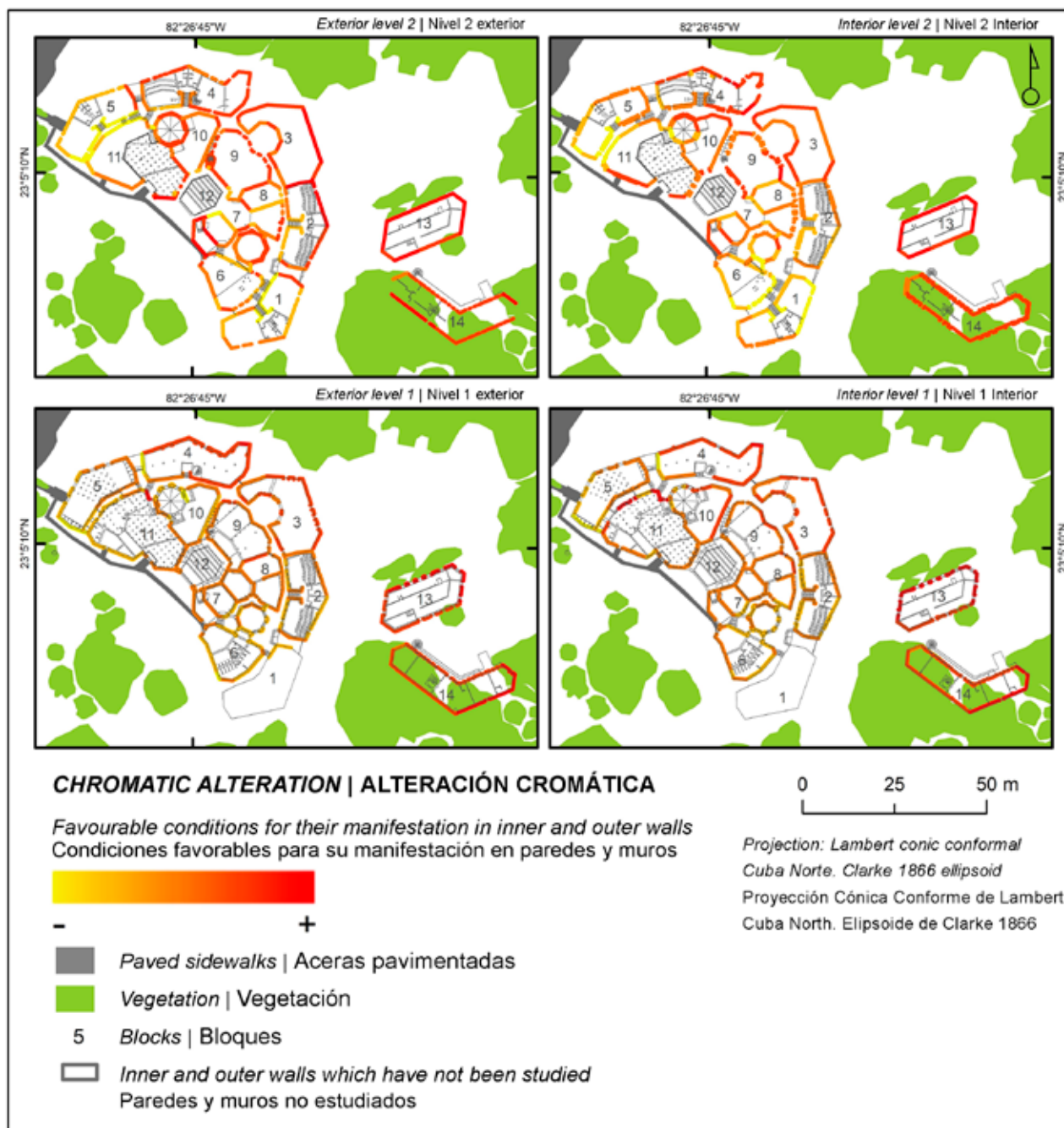
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los resultados de esta etapa se encuentra la representación espacial de cada uno de los deterioros estudiados (Figs. 12, 13, 14, 15, 16 y 17). En términos generales, las condiciones más favorables para la aparición de los deterioros son de esperar en las paredes exteriores de los niveles 1 y 2 de la instalación, más acentuados en las localizadas hacia el Noreste, que son las que tienen mayor humedad, menos horas de sol al año y están más cercanas al manto freático. La condensación y la humedad ascendente desde el suelo favorecen la proliferación de organismos como cianobacterias, algas, líquenes y musgos en los ladrillos bajo estas condiciones.

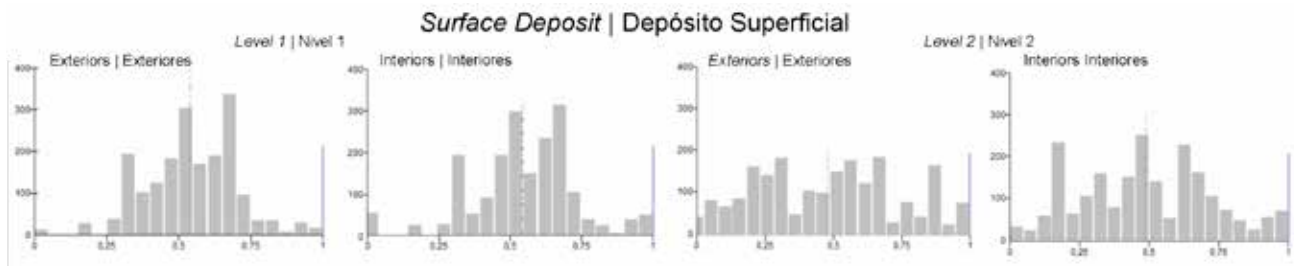
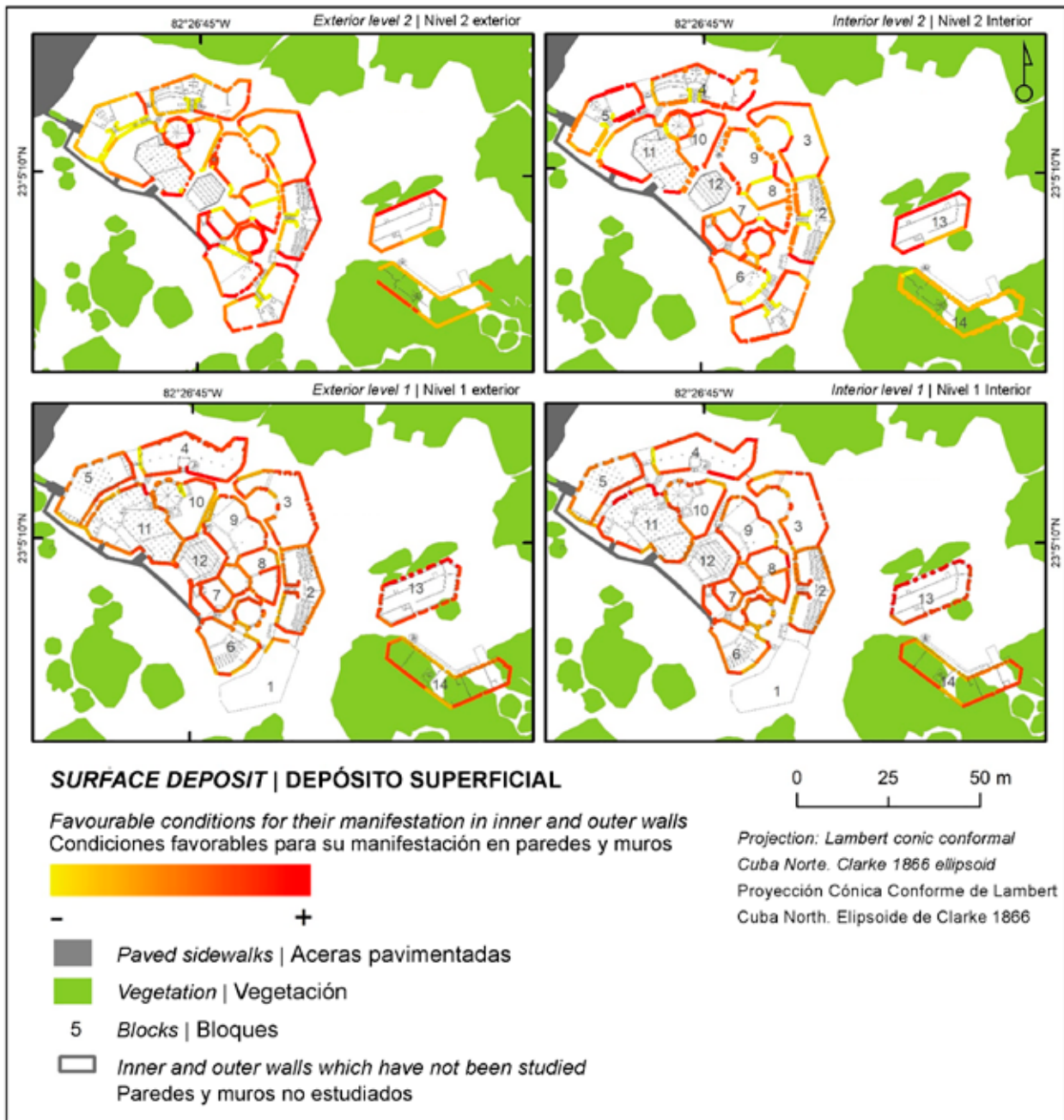
La comprobación del modelo propuesto a través del índice de Kappa (Figs. 18 y 19) arrojó resultados favorables, a pesar de la complejidad del fenómeno estudiado

yielded favourable results despite the complexity of the phenomenon studied and the need to consider a series of factors and technologies in its diagnosis. In most instances of deterioration the agreement reached was 0.4-0.6, indicating a moderate relation. In some cases the agreement was substantial, at times exceeding 0.6, and in three cases, where the value remained below 0.4, it was weak. In general terms, the greatest agreements between the estimates and reality were found in the inner and outer walls of levels 1 and 2, possibly influenced by higher exposure to environmental factors and external agents. As a result, the examples of deterioration found were more clearly distinguishable in the photographs obtained, whereas

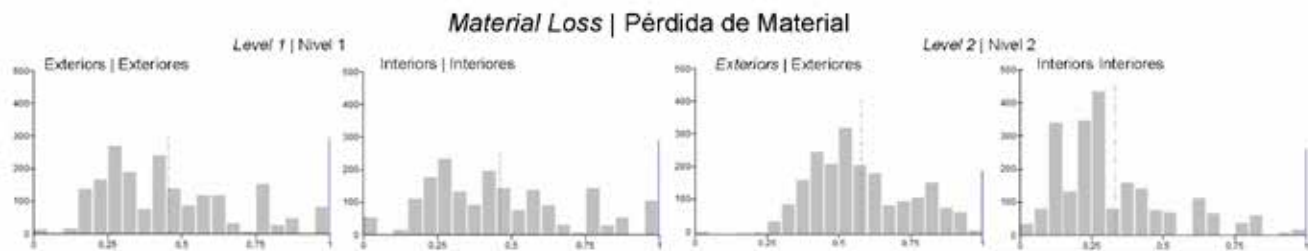
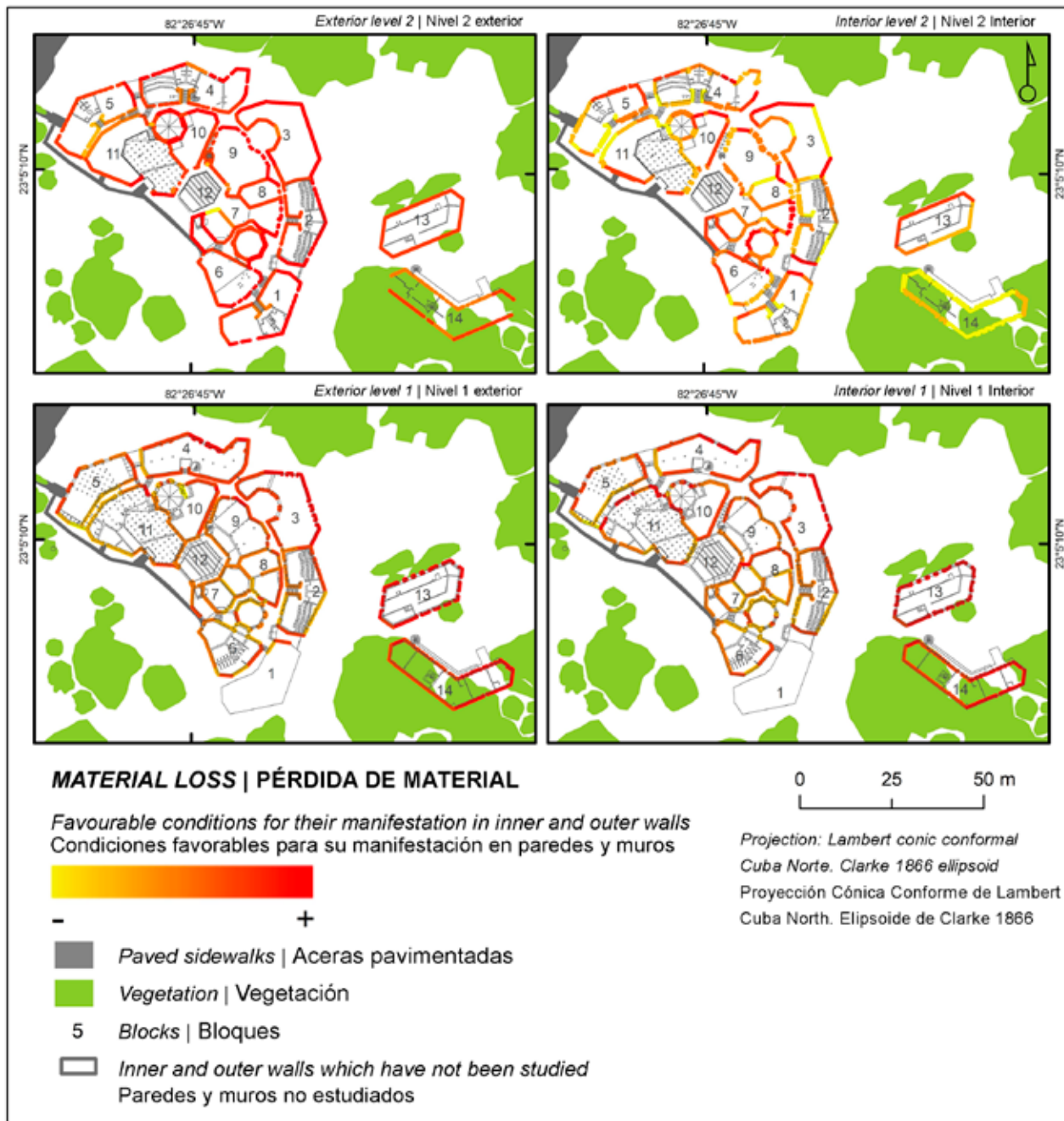
and the need to consider in its diagnostic various factors and technologies. In the majority of cases of deterioration a concordance between 0.4 and 0.6, which indicates a moderate relation. In some cases the concordance was substantial, reaching above 0.6, and in three cases it was weak, below 0.4. In general terms, the greatest concordance between the estimates and reality was obtained in the outer walls and masonry of levels 1 and 2, undoubtedly due to the fact that they are more exposed to environmental factors and external agents; therefore, the manifestations of deterioration are more clearly distinguished in the photographs obtained, whereas the inner walls are more protected and have a longer useful lifecycle, but both cases require regular maintenance for preservation. The types of deterioration with the clearest diagnosis according to the results of the Kappa index are detachments and material loss followed by biological attack, chromatic alteration, and surface deposits. In this last case the index of agreement obtained was the lowest in the diagnosis, and this may have been influenced by the difficulty of identifying certain types of material deposits in the photographs. Although in certain types of deterioration the diagnosis results, obtained from combining the mathematical model with the interpretation of HBIM photographs,



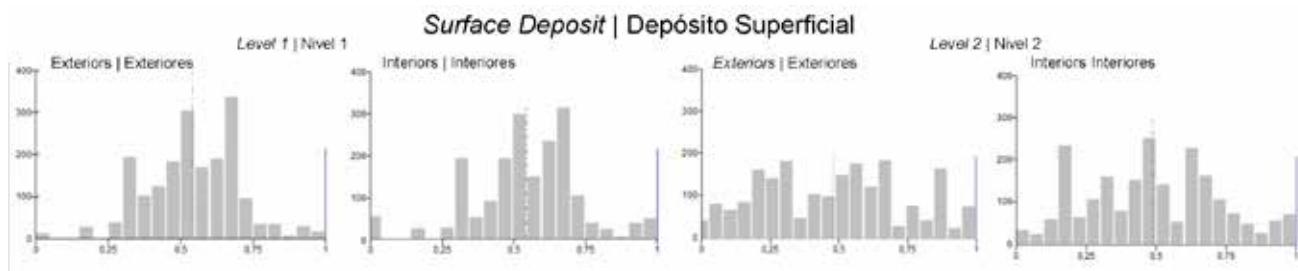
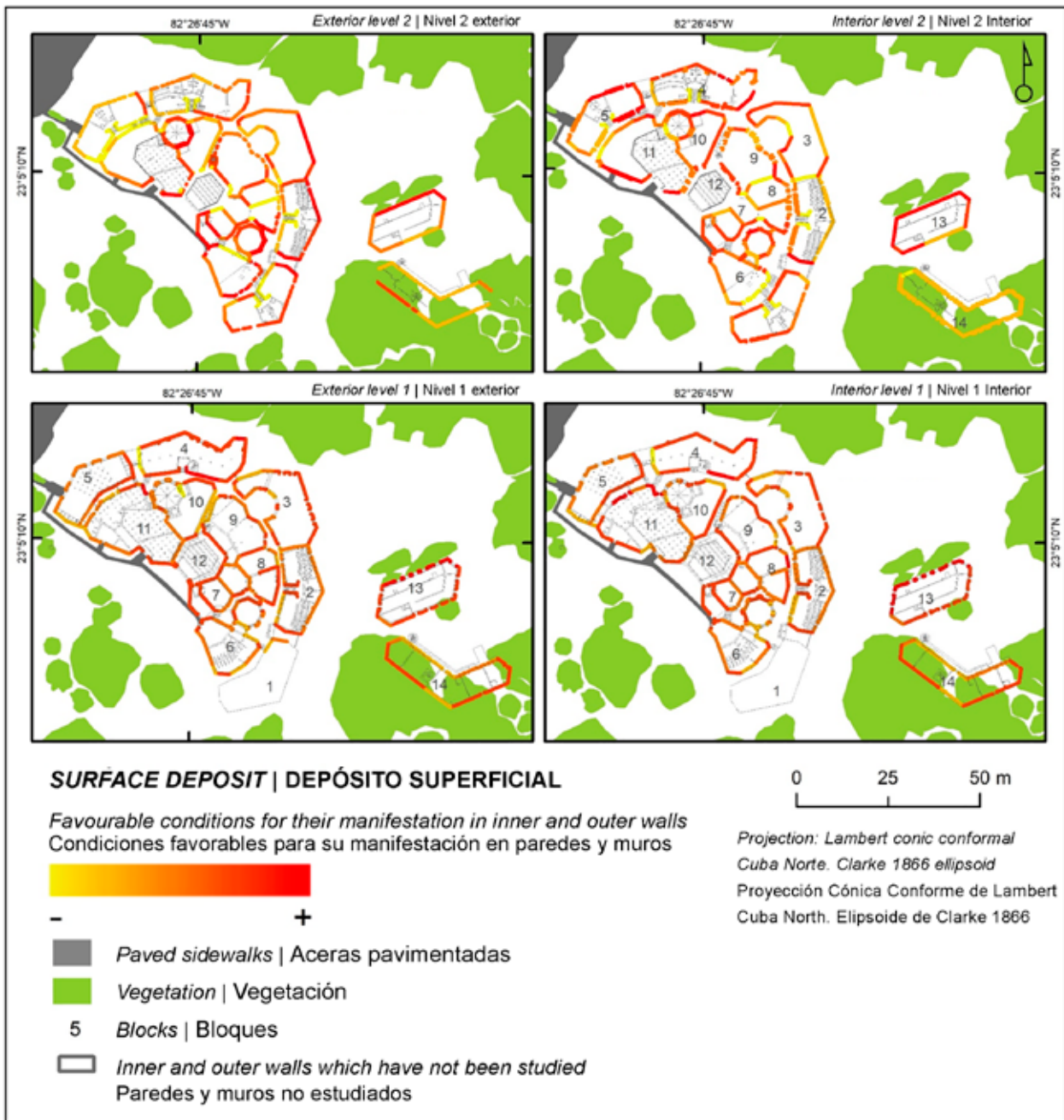
13. Alteración Cromática.
13. Chromatic alteration.



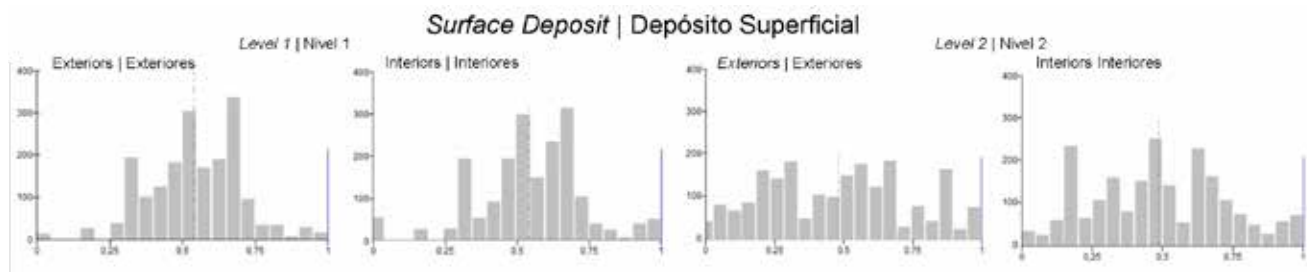
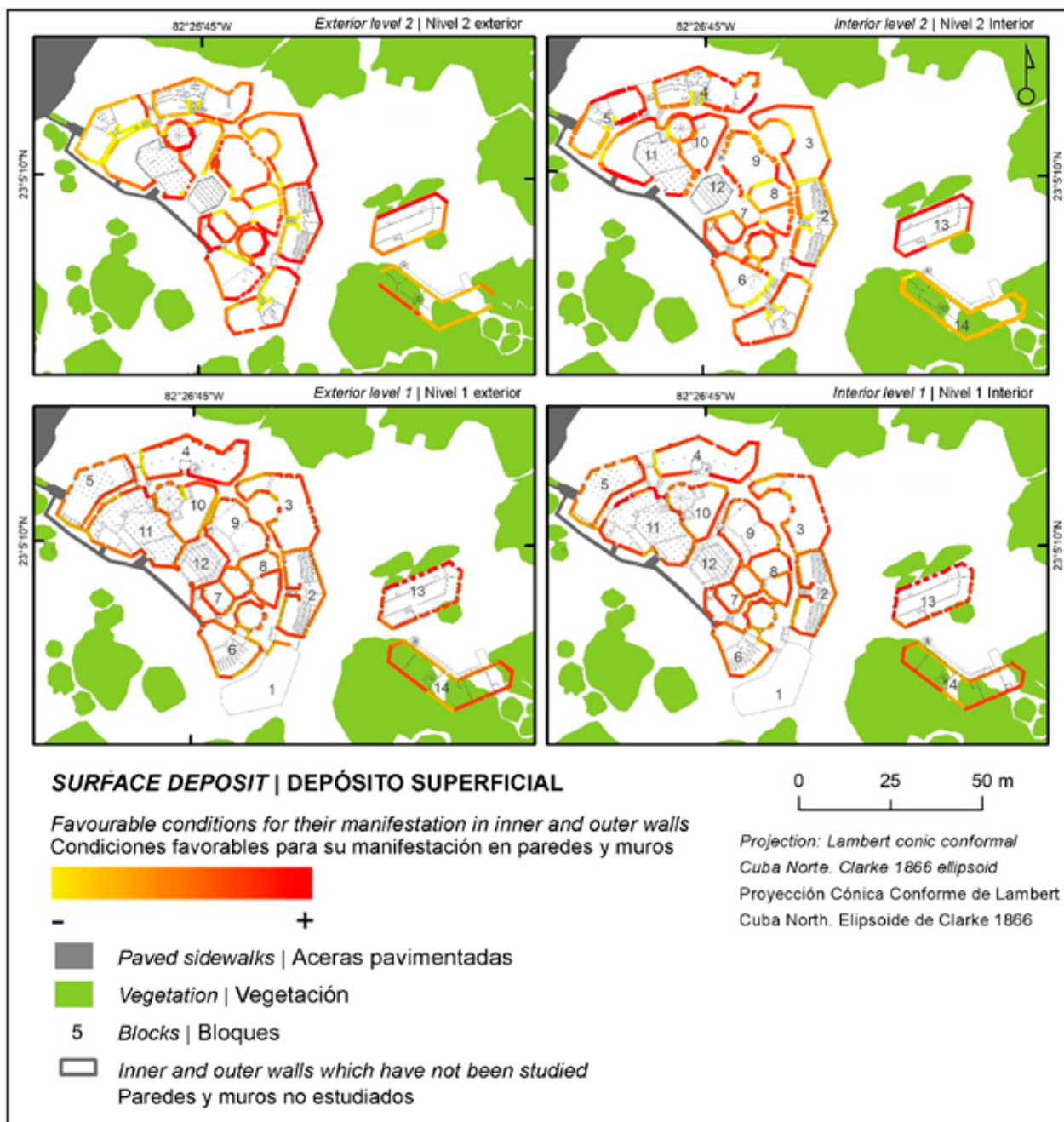
14. Depósito superficial.
 14. Surface deposit.



15. Pérdida de material.
15. Material loss.



16. Desprendimientos.
 16. Detachments.



17. Depósito Superficial Biológico.
17. Biological Surface Deposit.

		Ac real (Exterior Nivel 1)							Ac real (Exterior Nivel 2)								
0 1		total	N de casos válidos	Cálculo Kappa			1 total N de casos válidos		Cálculo Kappa								
Ac Estimado (Exterior Nivel 1)	0	Recuento	40	12	52	152	0,561	0	Recuento	51	12	63	167	0,613			
		% del total	26,30%	7,90%	34,20%				% del total	30,50%	7,20%	37,70%					
	1	Recuento	19	81	100			19	85	104	1	Recuento			19	85	104
		% del total	12,50%	53,30%	65,80%							% del total			11,40%	50,90%	62,30%
	Total	Recuento	59	93	152			70	97	167	Total	Recuento			70	97	167
		% del total	38,80%	61,20%	100,00%							% del total			41,90%	58,10%	100,00%
		Ab real (Exterior Nivel 1)							Ab real (Exterior Nivel 2)								
0 1		total	N de casos válidos	Cálculo Kappa			1 total N de casos válidos		Cálculo Kappa								
Ab Estimado (Exterior Nivel 1)	0	Recuento	33	15	48	152	0,569	0	Recuento	42	20	62	167	0,602			
		% del total	21,70%	9,90%	31,60%				% del total	25,10%	12,00%	37,10%					
	1	Recuento	13	91	104			10	95	105	1	Recuento			10	95	105
		% del total	8,60%	59,90%	68,40%							% del total			6,00%	56,90%	62,90%
	Total	Recuento	46	106	152			52	115	167	Total	Recuento			52	115	167
		% del total	30,30%	69,70%	100,00%							% del total			31,10%	68,90%	100,00%
		Dp real (Exterior Nivel 1)							Dp real (Exterior Nivel 2)								
0 1		total	N de casos válidos	Cálculo Kappa			1 total N de casos válidos		Cálculo Kappa								
Dp Estimado (Exterior Nivel 1)	0	Recuento	139	2	141	152	0,608	0	Recuento	151	0	151	167	0,584			
		% del total	91,40%	1,30%	92,80%				% del total	90,40%	0,00%	90,40%					
	1	Recuento	5	6	11			9	7	16	1	Recuento			9	7	16
		% del total	3,30%	3,90%	7,20%							% del total			5,40%	4,20%	9,60%
	Total	Recuento	144	8	152			160	7	167	Total	Recuento			160	7	167
		% del total	94,70%	5,30%	100,00%							% del total			95,80%	4,20%	100,00%
		Ds real (Exterior Nivel 1)							Ds real (Exterior Nivel 2)								
0 1		total	N de casos válidos	Cálculo Kappa			1 total N de casos válidos		Cálculo Kappa								
Ds Estimado (Exterior Nivel 1)	0	Recuento	37	15	52	152	0,512	0	Recuento	34	11	45	167	0,491			
		% del total	24,30%	9,90%	34,20%				% del total	20,40%	6,60%	26,90%					
	1	Recuento	19	81	100			26	96	122	1	Recuento			26	96	122
		% del total	12,50%	53,30%	65,80%							% del total			15,60%	57,50%	73,10%
	Total	Recuento	56	96	152			60	107	167	Total	Recuento			60	107	167
		% del total	36,80%	63,20%	100,00%							% del total			35,90%	64,10%	100,00%
		Pm real (Exterior Nivel 1)							Pm real (Exterior Nivel 2)								
0 1		total	N de casos válidos	Cálculo Kappa			1 total N de casos válidos		Cálculo Kappa								
Pm Estimado (Interior Nivel 1)	0	Recuento	17	8	25	152	0,693	0	Recuento	15	11	26	167	0,616			
		% del total	11,20%	5,30%	16,40%				% del total	9,00%	6,60%	15,60%					
	1	Recuento	4	123	127			4	137	141	1	Recuento			4	137	141
		% del total	2,60%	80,90%	83,60%							% del total			2,40%	82,00%	84,40%
	Total	Recuento	21	131	152			19	148	167	Total	Recuento			19	148	167
		% del total	13,80%	86,20%	100,00%							% del total			11,40%	88,60%	100,00%

18. Índice de Kappa en paredes exteriores.

0 1		Real Ac (Exterior Level 1)					1 total No. of valid cases		Real Ac (Exterior Level 2)					
		total	No. of valid cases	Kappa index					Kappa index					
Estimated Ac (Exterior Level 1)	0	Case count	40	12	52	152	0.561	0	Case count	51	12	63	167	0.613
		% of total	26.30%	7.90%	34.20%				% of total	30.50%	7.20%	37.70%		
	1	Case count	19	81	100			1	Case count	19	85	104		
		% of total	12.50%	53.30%	65.80%				% of total	11.40%	50.90%	62.30%		
	Total	Case count	59	93	152			Total	Case count	70	97	167		
% of total		38.80%	61.20%	100.00%	% of total	41.90%	58.10%		100.00%					
0 1		Real Ab (Exterior Level 1)					1 total No. of valid cases		Real Ab (Exterior Level 2)					
		total	No. of valid cases	Kappa index					Kappa index					
Estimated Ab (Exterior Level 1)	0	Case count	33	15	48	152	0.569	0	Case count	42	20	62	167	0.602
		% of total	21.70%	9.90%	31.60%				% of total	25.10%	12.00%	37.10%		
	1	Case count	13	91	104			1	Case count	10	95	105		
		% of total	8.60%	59.90%	68.40%				% of total	6.00%	56.90%	62.90%		
	Total	Case count	46	106	152			Total	Case count	52	115	167		
% of total		30.30%	69.70%	100.00%	% of total	31.10%	68.90%		100.00%					
0 1		Real Dp (Exterior Level 1)					1 total No. of valid cases		Real Dp (Exterior Level 2)					
		total	No. of valid cases	Kappa index					Kappa index					
Estimated Dp (Exterior Level 1)	0	Case count	139	2	141	152	0.608	0	Case count	151	0	151	167	0.584
		% of total	91.40%	1.30%	92.80%				% of total	90.40%	0.00%	90.40%		
	1	Case count	5	6	11			1	Case count	9	7	16		
		% of total	3.30%	3.90%	7.20%				% of total	5.40%	4.20%	9.60%		
	Total	Case count	144	8	152			Total	Case count	160	7	167		
% of total		94.70%	5.30%	100.00%	% of total	95.80%	4.20%		100.00%					
0 1		Real Ds (Exterior Level 1)					1 total No. of valid cases		Real Ds (Exterior Level 2)					
		total	No. of valid cases	Kappa index					Kappa index					
Estimated Ds (Exterior Level 1)	0	Case count	37	15	52	152	0.512	0	Case count	34	11	45	167	0.491
		% of total	24.30%	9.90%	34.20%				% of total	20.40%	6.60%	26.90%		
	1	Case count	19	81	100			1	Case count	26	96	122		
		% of total	12.50%	53.30%	65.80%				% of total	15.60%	57.50%	73.10%		
	Total	Case count	56	96	152			Total	Case count	60	107	167		
% of total		36.80%	63.20%	100.00%	% of total	35.90%	64.10%		100.00%					
0 1		Real Pm (Exterior Level 1)					1 total No. of valid cases		Real Pm (Exterior Level 2)					
		total	No. of valid cases	Kappa index					Kappa index					
Estimated Pm (Interior Level 1)	0	Case count	17	8	25	152	0.693	0	Case count	15	11	26	167	0.616
		% of total	11.20%	5.30%	16.40%				% of total	9.00%	6.60%	15.60%		
	1	Case count	4	123	127			1	Case count	4	137	141		
		% of total	2.60%	80.90%	83.60%				% of total	2.40%	82.00%	84.40%		
	Total	Case count	21	131	152			Total	Case count	19	148	167		
% of total		13.80%	86.20%	100.00%	% of total	11.40%	88.60%		100.00%					

18. Kappa index for outer walls.

0 1		Ac real (Interior Nivel 1)					1 total N de casos válidos		Ac real (Interior Nivel 2)						
		total	N de casos válidos	Cálculo Kappa					Cálculo Kappa						
Ac Estimado (Interior Nivel 1)	0	Recuento	28	23	51	150	0,531	Ac Estimado (Interior Nivel 2)	0	Recuento	41	36	77	168	0,446
		% del total	18,70%	15,30%	34,00%					% del total	24,40%	21,40%	45,80%		
	1	Recuento	6	93	99				1	Recuento	9	82	91		
		% del total	4,00%	62,00%	66,00%					% del total	5,40%	48,80%	54,20%		
	Total	Recuento	34	116	150				Total	Recuento	50	118	168		
		% del total	22,70%	77,30%	100,00%					% del total	29,80%	70,20%	100,00%		
0 1		Ab real (Interior Nivel 1)					1 total N de casos válidos		Ab real (Interior Nivel 2)						
Ab Estimado (Interior Nivel 1)	0	Recuento	119	0	119	150	0,501	Ab Estimado (Interior Nivel 2)	0	Recuento	76	22	98	168	0,448
		% del total	79,30%	0,00%	79,30%					% del total	45,20%	13,10%	58,30%		
	1	Recuento	19	12	31				1	Recuento	23	47	70		
		% del total	12,70%	8,00%	20,70%					% del total	13,70%	28,00%	41,70%		
	Total	Recuento	138	12	150				Total	Recuento	99	69	168		
		% del total	92,00%	8,00%	100,00%					% del total	58,90%	41,10%	100,00%		
0 1		Dp real (Interior Nivel 1)					1 total N de casos válidos		Dp real (Interior Nivel 2)						
Dp Estimado (Interior Nivel 1)	0	Recuento	138	1	139	150	0,566	Dp Estimado (Interior Nivel 2)	0	Recuento	149	2	151	168	0,56
		% del total	92,00%	0,70%	92,70%					% del total	88,70%	1,20%	89,90%		
	1	Recuento	6	5	11				1	Recuento	9	8	17		
		% del total	4,00%	3,30%	7,30%					% del total	5,40%	4,80%	10,10%		
	Total	Recuento	144	6	150				Total	Recuento	158	10	168		
		% del total	96,00%	4,00%	100,00%					% del total	94,00%	6,00%	100,00%		
0 1		Ds real (Interior Nivel 1)					1 total N de casos válidos		Ds real (Interior Nivel 2)						
Ds Estimado (Interior Nivel 1)	0	Recuento	28	26	54	150	0,469	Ds Estimado (Interior Nivel 2)	0	Recuento	39	28	67	168	0,392
		% del total	18,70%	17,30%	36,00%					% del total	23,20%	16,70%	39,90%		
	1	Recuento	8	88	96				1	Recuento	20	81	101		
		% del total	5,30%	58,70%	64,00%					% del total	11,90%	48,20%	60,10%		
	Total	Recuento	36	114	150				Total	Recuento	59	109	168		
		% del total	24,00%	76,00%	100,00%					% del total	35,10%	64,90%	100,00%		
0 1		Pm real (Interior Nivel 1)					1 total N de casos válidos		Pm real (Interior Nivel 2)						
Pm Estimado (Interior Nivel 1)	0	Recuento	25	11	36	150	0,584	Pm Estimado (Interior Nivel 2)	0	Recuento	40	22	62	168	0,504
		% del total	16,70%	7,30%	24,00%					% del total	23,80%	13,10%	36,90%		
	1	Recuento	12	102	114				1	Recuento	16	90	106		
		% del total	8,00%	68,00%	76,00%					% del total	9,50%	53,60%	63,10%		
	Total	Recuento	37	113	150				Total	Recuento	56	112	168		
		% del total	24,70%	75,30%	100,00%					% del total	33,30%	66,70%	100,00%		

19. Índice de Kappa en paredes interiores.

0 1		Real Ac (Interior Level 1)				1 total No. of valid cases		Real Ac (Interior Level 2)						
		Total	No. of valid cases	Kappa index				Kappa index						
Estimated Ac (Interior Level 1)	0	Case count	28	23	51	150	0.531	0	Case count	41	36	77	168	0.446
		% of total	18.70%	15.30%	34.00%				% of total	24.40%	21.40%	45.80%		
	1	Case count	6	93	99			1	Case count	9	82	91		
		% of total	4.00%	62.00%	66.00%				% of total	5.40%	48.80%	54.20%		
	Total	Case count	34	116	150			Total	Case count	50	118	168		
		% of total	22.70%	77.30%	100.00%				% of total	29.80%	70.20%	100.00%		
0 1		Real Ab (Interior Level 1)				1 total No. of valid cases		Real Ab (Interior Level 2)						
		total	No. of valid cases	Kappa index				Kappa index						
Estimated Ab (Interior Level 1)	0	Case count	119	0	119	150	0.501	0	Case count	76	22	98	168	0.448
		% of total	79.30%	0.00%	79.30%				% of total	45.20%	13.10%	58.30%		
	1	Case count	19	12	31			1	Case count	23	47	70		
		% of total	12.70%	8.00%	20.70%				% of total	13.70%	28.00%	41.70%		
	Total	Case count	138	12	150			Total	Case count	99	69	168		
		% of total	92.00%	8.00%	100.00%				% of total	58.90%	41.10%	100.00%		
0 1		Real Dp (Interior Level 1)				1 total No. of valid cases		Real Dp (Interior Level 2)						
		total	No. of valid cases	Kappa index				Kappa index						
Estimated Dp (Interior Level 1)	0	Case count	138	1	139	150	0.566	0	Case count	149	2	151	168	0.56
		% of total	92.00%	0.70%	92.70%				% of total	88.70%	1.20%	89.90%		
	1	Case count	6	5	11			1	Case count	9	8	17		
		% of total	4.00%	3.30%	7.30%				% of total	5.40%	4.80%	10.10%		
	Total	Case count	144	6	150			Total	Case count	158	10	168		
		% of total	96.00%	4.00%	100.00%				% of total	94.00%	6.00%	100.00%		
0 1		Real Ds (Interior Level 1)				1 total No. of valid cases		Real Ds (Interior Level 2)						
		Total	No. of valid cases	Kappa index				Kappa index						
Estimated Ds (Interior Level 1)	0	Case count	28	26	54	150	0.469	0	Case count	39	28	67	168	0.392
		% of total	18.70%	17.30%	36.00%				% of total	23.20%	16.70%	39.90%		
	1	Case count	8	88	96			1	Case count	20	81	101		
		% of total	5.30%	58.70%	64.00%				% of total	11.90%	48.20%	60.10%		
	Total	Case count	36	114	150			Total	Case count	59	109	168		
		% of total	24.00%	76.00%	100.00%				% of total	35.10%	64.90%	100.00%		
0 1		Real Pm (Interior Level 1)				1 total No. of valid cases		Real Pm (Interior Level 2)						
		total	No. of valid cases	Kappa index				Kappa index						
Estimated Pm (Interior Level 1)	0	Case count	25	11	36	150	0.584	0	Case count	40	22	62	168	0.504
		% of total	16.70%	7.30%	24.00%				% of total	23.80%	13.10%	36.90%		
	1	Case count	12	102	114			1	Case count	16	90	106		
		% of total	8.00%	68.00%	76.00%				% of total	9.50%	53.60%	63.10%		
	Total	Case count	37	113	150			Total	Case count	56	112	168		
		% of total	24.70%	75.30%	100.00%				% of total	33.30%	66.70%	100.00%		

19. Kappa index for inner walls.

El tipo de deterioro mejor diagnosticado según los resultados del índice Kappa corresponde a los desprendimientos y la pérdida de material, seguido del ataque biológico, la alteración cromática y los depósitos superficiales. El índice de concordancia de este último fue el más bajo alcanzado en el diagnóstico, posiblemente por la dificultad para identificar en las fotografías algunos tipos de depósitos de materiales. En determinados tipos de deterioro los resultados del diagnóstico obtenidos de la vinculación del modelo matemático con la interpretación de las fotografías del HBIM pueden parecer bajos; sin embargo, se deben tener en cuenta otros factores, entre los cuales caben mencionar los siguientes: el complejo arquitectónico fue construido con ladrillos de diversas fábricas con calidades desiguales; en algunos bloques de la instalación se han llevado a cabo labores de mantenimiento, mientras que

en otros no; el área de estudio es muy amplia con múltiples accesos; algunas paredes y muros están más alejados de los lugares custodiados y han sido objeto de vandalismo.

5. CONCLUSIONES

El diagnóstico del deterioro de inmuebles con valor patrimonial a través de la tecnología HBIM-SIG es un procedimiento complejo en el que se deben considerar varios factores y tecnologías, y donde el proceso no es totalmente automatizado, pues requiere la intervención de los expertos en varios momentos en los que sus criterios influyen notablemente en los resultados. El empleo de forma combinada de los ELT y VANTs facilitó la representación cartográfica en dos y tres dimensiones del ISA y la generación de un sistema de Información de la Edificación con apuntes detallados de sus paredes y muros. Las herramientas de

análisis espacial y modelación presentes en los SIG posibilitaron el análisis de la influencia de las variables ambientales y la elaboración de un modelo matemático que permitió identificar las condiciones más favorables para la aparición del deterioro estudiado en las paredes y muros de la edificación examinada. Los resultados de la comprobación del modelo propuesto dan cuenta de que, en sentido general, el deterioro mejor diagnosticado según el índice Kappa corresponde al desprendimiento y la pérdida de material, seguido por el ataque biológico, alteración cromática y depósito superficial.

Finalmente cabe destacar cómo los resultados de la investigación pueden utilizarse como base para la aplicación de herramientas con inteligencia artificial (IA) que den pie a la detección automatizada del deterioro a partir del empleo de tecnologías HBIM-SIG. 🏛️

may seem low, other factors must be taken into account when interpreting these results. These factors include the use of different types of brick with different qualities in the construction of the complex, maintenance tasks carried out only in some blocks of the complex, the extensive study area with multiple accesses, and the fact that some inner and outer walls are further away from more protected spaces and have been vandalized.

5. CONCLUSION

The diagnosis of the deterioration of buildings with heritage value using HBIM-GIS technology is a complex procedure which involves the consideration of numerous factors and technologies.

This process is not fully automated and requires expert intervention at various stages where the criteria can notably influence results. The combined use of ELT and UAVs enabled the 2D and 3D mapping of the ISA and the creation of a building information system with detailed data on inner and outer walls. The spatial analysis and modelling tools found in GIS enable the analysis of the influence of environmental variables, as well as the creation of a mathematical model to identify the most favourable conditions for the appearance of the deterioration studied in the inner and outer walls of the building. The results of the verification of the proposed model show that in general the forms of deterioration best diagnosed using the Kappa index are

detachment and material loss, followed by biological attack, chromatic alteration, and surface deposit.

Finally, it should be stressed that the results of this research can be used as the basis for the application of artificial intelligence (AI) tools enabling the automated detection of deterioration using HBIM-GIS technologies. 🏛️

BIBLIOGRAFÍA / REFERENCES

- Broto, C. (2006). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Barcelona: Links International. https://higienyseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf
- Cabrera García, V. M., & Valiente Ochoa, E. (2020). Revitalizar el patrimonio arquitectónico en desuso. *Quiroga, Revista de Patrimonio Iberoamericano*, 18, 38-51. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/quiroga/article/view/17814/15595>
- Couceiro, M. C. (2021). Realidades Extendidas (XR). Evolución cognitiva y analogías biológicas en la comunicación científica. *Cuaderno*, 149, 75–90. Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. https://www.academia.edu/86540739/Realidades_Extendidas_XR_Evoluci%C3%B3n_Cognitiva_y_Analog%C3%ADas_Biol%C3%B3gicas_en_la_Comunicaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica
- De Ullibarri Galparsoro, L., & Pita Fernández, S. (1999). Medidas de concordancia: El índice de Kappa. *Cadernos de Atención Primaria*, 6, 223-226. <https://www.mvclinic.es/wp-content/uploads/L%c3%b3pez-de-Ullibarri-Medidas-de-concordancia-e-l-%c3%a4ndice-Kappa.pdf#:~:text=El%20%C3%ADndice%20kappa%20representa%20una>
- Deng, Y., Cheng, J., & Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>
- Donato, V., Biagini, C., & Merlo, A. (2021). H-BIM for the Faculty of Theatral Art of Havana. In A. Arena, M. Arena, D. Mediati, & P. Raffa (Eds.), *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Technologie* (pp. 2247-2264). Milán: FrancoAngeli. https://www.academia.edu/95385408/H_BIM_per_il_progetto_di_recupero_della_Facolt%C3%A0_di_Arte_Teatrale_della_Havana
- Flórez Translaviña, C. A. (2022). *Metodología de integración BIM-GIS para proyectos de Infraestructura, caso de estudio “Pericongo” corredor vial Neiva – Santana – Mocoa* [Master’s thesis, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia]. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/44998/FlorezTraslaviñaCristianAndres2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Franceschi, S., & Germani, L. (2021). *Il degrado dei materiali nell edilizia. Cause e valutazioni delle patologie*. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.
- Franceschi, S., & Germani, L. (2024). *Manuale operativo per il restauro architettonico. Metodologie di intervento per il restauro e la conservazione del patrimonio storico*. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.
- García Valldecabres, J., Escudero, P. A., López González, M. C., & Cortés Meseguer, L. (2023). Utilización de BIM para la generación de fichas relativo a la manifestación patológica en edificios históricos. In B. Fuentes Giner & I. O. Faubel (Eds.), *Actas del Congreso Internacional BIM / 12º Encuentro de Usuarios BIM (EUBIM 2023)* (pp. 56–62). Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/EUBIM/EUBIM2023/paper/viewFile/16863/7906>
- Hidalgo Sánchez, F. M. (2018). *Interoperabilidad entre SIG y BIM aplicada al patrimonio arquitectónico, exploración de posibilidades mediante la realización de un modelo digitalizado de la Antigua Iglesia de Santa Lucía y posterior análisis* [Bachelor’s thesis, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/79394>
- ICOMOS. (2003). *Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico*. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures_sp.pdf
- Idrovo, D., Jara, D., & Torres, G. (2012). *Formulación de un plan de conservación preventiva para los bienes edificados aplicado al Seminario San Luis y Calle Santa Ana* [Master’s thesis, Universidad de Cuenca, Ecuador]. https://www.academia.edu/91674819/Formulaci%C3%B3n_de_un_plan_de_conservaci%C3%B3n_preventiva_para_los_bienes_edificados_aplicado_al_Seminario_San_Luis_y_calle_Santa_Ana#:~:text=Formulaci%C3%B3n%20de%20un%20plan%20de%20conservaci%C3%B3n
- León Nieto, J. A. (2020). *Un acercamiento a los procesos de automatización en el patrimonio constructivo: El caso de la fachada de la Casa de Pilatos; Sevilla* [Master’s thesis, Universidad de Sevilla]. <https://hdl.handle.net/11441/104379>
- López González, M. C., & García Valldecabres, J. (2023). The integration of HBIM-SIG in the development of a virtual itinerary in a historical centre. *Sustainability*, 15(18), 13931. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/18/13931>
- Merlo, A., & Feliciano Valenciaga, Y. (Eds.). (2023). *¿Qué no baje el telón! Proyecto de restauración y rehabilitación de la Facultad de Arte Teatral del ISA*. Florencia-La Habana: didapress-Ediciones Cúpulas. <https://didapress.it/publicazione/que-no-baje-el-telon>
- Navas, M. G. (2018). BIM data. La gestión de datos del BIM. *ALZADA*, 116, 54–57. <https://www.riarte.es/handle/20.500.12251/638#:~:text=Resumen.%20Cuando%20en%202010%20habl%C3%A1bamos%20de%20la>
- Nieto Julián, J. E., Lara, L., & Moyano, J. (2021). Implementation of a TeamWork-HBIM for the management and sustainability of architectural heritage. *Sustainability*, 3(4), 2161, 1–23. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2161>

Nor Fa'aizah, W., Abdul Basir, W., Majid, Z., Ujang, U., & Chong, A. (2018). Integration of GIS and BIM techniques in construction project management – a review. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W9, 307–321. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W9-307-2018>

Olaya, V. (2021). *Sistemas de información geográfica*. Lulu.com. <https://volaya.github.io/libro-sig/>

Orellana Espinoza, M. I. (2019). *Detección de grietas mediante Deep Learning basado en imágenes en concreto* [Master's thesis, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/174436>

Paradiso, M. (2016). *Las escuelas nacionales de arte de la Habana: Pasado, presente y futuro*. Florencia: Didapress. https://issuu.com/dida-unifi/docs/paradiso_issu22

Patiño, L. R. (2012). *Patología del ladrillo en fachadas causada por agentes atmosféricos. Estudio de caso ciudad de Bogotá* [Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69606>

Porras Velázquez, A. (2017). *Método Kriging de inferencia espacial* [Diplomado en Análisis de Información Geoespacial, CentroGeo México]. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/160/1/16-Método%20Kriging%20de%20Inferencia%20espacial%20-%20Diplomado%20en%20Análisis%20de%20Información%20Geoespacial.pdf>

Quintilla Castán, M., & Agustín Hernández, L. (2022). Metodología de captura y procesado para el desarrollo de una base de datos gráfica 3D del patrimonio arquitectónico. *Ge-Conservación*, 21(1), 72–84. <https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1048>

Salazar Montalba, F. M. E. (2018). *Análisis de la metodología BIM en el desarrollo de obras de construcción en el marco de la ingeniería Geomática* [Master's thesis, Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles]. <https://www.udocz.com/apuntes/659322/salazar-montalba>

Salvador García, E., Viñals Blasco, M. J., García Valldecabres, J. L., & López González, C. (2022). Gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico mediante un protocolo HBIM. *EXCO '22*. Universitat Politècnica de València. https://hbimsigtur.webs.upv.es/wp-content/uploads/2022/06/EXCO22-Paper-ES_MJV_JG_CL.pdf

Vera Galindo, C. (2018). *Aplicación de la metodología BIM a un proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial. Modelo BIM 5D costes* [Master's thesis, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/84165>

NOTAS / ENDNOTES

1. A través de esta tecnología se pueden modelar todos los aspectos de los edificios incluidas sus estructuras y apariencias, así como incluir atributos como el propietario, la historia y el costo, con fines de análisis estructural, análisis energético, estimación de costos de construcción o mantenimiento de edificios. / This technology provides models of all aspects of buildings, including structure and appearance, as well as aspects such as owner, history and cost, in order to carry out structural and energy analysis and to estimate building construction or maintenance costs.

2. Este trabajo se enmarca en el proyecto de cooperación intergubernamental Italia-Cuba «¡Qué no baje el telón!». El proyecto de investigación fue financiado por el Grupo Empresarial GEOCUBA (GEODESA). / This work is part of the cooperation project Italy-Cuba intergovernmental "Let the curtain not come down!". The research project was funded by the GEOCUBA (GEODESA) Business. Los expertos que participaron en la investigación fueron: / The experts who participated in the research were: Alessandro Merlo (Profesor titular, Arquitecto, DrC. Universidad de Florencia), Stefania Franceschi (Arquitecto, Universidad de Florencia), Leonardo Germani (Arquitecto, DrC. Universidad de Florencia), Carlo Biagini (Profesor titular, Ingeniero, DrC. Universidad de Florencia), Michele Paradiso (Profesor titular, Arquitecto, DrC. Universidad de Florencia), Sergio Raimant Arencibia (Vicedecano Colegio San Gerónimo, Arquitecto, Universidad de La Habana), Rafael Salas Trujillo (Especialista Principal Centro de Servicios científico-técnicos – DEMA, Empresa GEODESA, Máster en Ciencias en Ingeniería Ambiental), Geosvany Méndez Gutiérrez (Director de Centro de Servicios científico-técnicos – DEMA, Empresa GEODESA, Ingeniero Geólogo), Raúl Sevilla Lovaina (Director de Investigaciones Aplicadas, ENIA INESCOM, Ingeniero Geólogo).