

---

**Las construcciones costeras: su durabilidad ante el impacto ambiental.**

Coastal constructions: their durability in the face of environmental impact

Manuel Pedroso Martínez<sup>1</sup>

Universidad José Eduardo Dos Santos

manuelpedrosomartinez88@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9767-9379>

João Pedro da Fonseca<sup>2</sup>

Universidad José Eduardo Dos Santos

joaopedro@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0009-1562-6191>

Osbel Morales Armas<sup>3</sup>

Universidad Agraria de La Habana

osbel1985@nauta.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5620-8044>

Pedroso Martínez, M.; Pedro da Fonseca, J. y Morales Armas, O. (2024). Las construcciones costeras: su durabilidad ante el impacto ambiental. Revista pensamiento transformacional

**Resumen.** La presente ponencia, responde a la investigación de los autores y a la necesidad de analizar el impacto que sufren las construcciones en zonas costeras, fundamentalmente las patrimoniales, debido a cargas ambientales. En este se aborda la temática de la conservación de edificaciones ligada a la problemática ambiental, para ello se realiza un levantamiento patológico de casos de estudios, ubicados en todo el litoral norte de la ciudad de Matanzas, Cuba y en parte de Luanda, capital de Angola, los cuales han sido estudiadas por los autores en los últimos dos años. También, se caracterizan las variables medioambientales que priman en la región y se evalúa el impacto que ejercen sobre las construcciones costeras, fundamentalmente a causa de los iones cloruros. La ponencia ofrece un análisis de como el clima y la contaminación ambiental impactan sobre el patrimonio edificado, abriendo el camino para futuras investigaciones que permitan garantizar una eficiente preservación del medio ambiente que permita en pocas palabras conciliar el crecimiento económico de la protección ambiental y la gestión del patrimonio y su durabilidad.

**Palabras clave:** Confiabilidad operacional, conservación de edificaciones, construcciones costeras, impacto ambiental

**Abstract.** This paper responds to the authors' research and the need to analyze the impact suffered by constructions in coastal areas, mainly heritage areas, due to environmental loads. This addresses the issue of the conservation of buildings linked to environmental problems, for this a pathological survey of case studies is carried out, located throughout the northern coast of the city of Matanzas, Cuba and in part of Luanda, capital of Angola, which have been studied by the authors in the last two years. Also, the environmental variables that prevail in the region are characterized and the impact they have on coastal constructions is evaluated, mainly due to chloride ions. The presentation offers an analysis of how climate and environmental pollution impact built heritage, opening the way for future research that will guarantee efficient preservation of the environment that, in a few words, will allow reconciling economic growth with environmental protection and management of heritage and its durability.

**Keywords:** Operational reliability, building conservation, coastal constructions, environmental impact

## **1 Introducción**

La zona costera ha sido un centro importante de desarrollo de la sociedad humana a lo largo de la historia, por los beneficios que brinda el acceso al mar, como el transporte, el comercio y la obtención de alimento, abundante en aguas costeras, los cuales resultan factores determinantes para el asentamiento de poblaciones y la construcción de edificaciones.

La zona costera y costero marina se conceptualiza como tal desde el momento en que se comprendió que el medio marino y el terrestre adyacente constituían un sistema cuyos elementos interactúan entre sí. El Decreto Ley 212, de Gestión de las Zonas Costeras Cubanas, regula en su artículo 2, la definición de zona costera como la franja marítimo-terrestre de ancho variable, donde se produce la interacción de la tierra, el mar y la atmósfera, mediante procesos naturales. En la misma se desarrollan formas exclusivas de ecosistemas frágiles y se manifiestan relaciones

particulares económicas, sociales y culturales” (Cuba, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente [CITMA], 2000).

En las zonas costeras es precisamente donde mayor repercusión tiene el fenómeno actual conocido como cambio climático, que se define como una modificación en el estado del clima, en crecimiento o decrecimiento de sus valores promedios, durante un tiempo prolongado, típicamente décadas o más, y que es mayormente atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial, asociado también a procesos naturales (Herrán, 2019).

Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros meteorológicos: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones, nubosidad, etc. Generalmente asociados a los cambios climáticos existen riesgos naturales los cuales provocan efectos directos e indirectos sobre el patrimonio (León, 2015).

La frecuencia y grado de afectación de las edificaciones debido al cambio climático viene dado por la región en su gran mayoría. No obstante, en las últimas décadas han sufrido grandes daños sin importar la región, todo esto viene determinado por el clima extremo a nivel mundial (entiéndase por clima extremo los incendios forestales, las tormentas o las inundaciones provocadas por las altas precipitaciones). Si no se invierte en la capacidad de adaptar o prevenir todas estas afectaciones y mejorar su capacidad de adaptación, todas estas vulnerabilidades continuarán existiendo y afectando su funcionalidad.

Las edificaciones patrimoniales juegan un papel fundamental para la sociedad pues constituyen el legado histórico heredado de los antepasados. Es de suma importancia conocerlas, protegerlas y conservarlas para que sean transmitidas a las futuras generaciones. El estudio de las mismas permite conocer en que época se desarrollaron y las características de las sociedades que las realizaron.

En la actualidad la conservación de estas obras, en específico las erigidas con hormigón, resulta uno de los principales retos que enfrentan los ingenieros civiles y los arquitectos, donde no solo se enfrentan a obras de otro tiempo con materiales y técnicas constructivas diferentes, que han evolucionado, sino que en sus manos se encuentra la posibilidad de devolverle a esas construcciones la belleza y funcionalidad con que fueron concebidas.

El problema más importante que se observa en las construcciones de hormigón y/o hormigón armado es, actualmente, el deterioro por cargas ambientales. En las zonas costeras los principales agentes agresores son cloruros, sulfatos y humedad los cuales penetran a través de la red de poros del concreto. Algunos de estos agentes provocan daños directamente al concreto, pero principalmente producen la corrosión del acero de refuerzo; esto provoca disminución de la resistencia de los elementos por pérdida de área de acero y posteriormente, el agrietamiento y desprendimiento del concreto.

Actualmente se puede considerar que el problema de las construcciones de concreto que más preocupa es la falta de durabilidad de las estructuras por cargas ambientales (Solís et al., 2023).

Por ello persigue como objetivo general, demostrar el impacto que sufren las construcciones patrimoniales ubicadas en la costa norte debido a cargas ambientales, como caso de estudio: ubicadas en la provincia de Matanzas de Cuba y en Luanda capital de Angola.

## **2 Materiales y Métodos**

El objeto de obra se ubica en un municipio que abarca un área de 36,8 km<sup>2</sup>, que representa el 8,95% de la extensión de la provincia; población total 179 866 habitantes para una densidad de 5011.26Hab/km<sup>2</sup>. Altitud media 30m sobre el nivel del mar. El edificio, ver figura 5, limita al frente con un centro de alta tecnología, por el lateral derecho saliendo con una calle secundaria, por el lateral izquierdo saliendo con oficinas inmobiliaria importadora y por el fondo con edificios IMS de 14 y 18 pisos de altura.

El sistema IMS variante PVYC (Planta de Viviendas Yugoslava en Cuba) se introdujo a finales de la década del 70, destinándose a la producción de elementos que conforman edificios de viviendas de 5 1 8, 12, y 18 plantas (Diéguez, 2011). (ver Fig. 1)



**Figura 1.** En rojo la ubicación del edificio con respecto a su entorno.

La estructura portante está compuesta por un sistema de exosqueleto, formado por columnas y losas casetonadas postensionadas, las vigas se crean cuando se hormigonan las juntas entre los elementos horizontales (losa-losa 1 losa-viga de borde) que conforman el diafragma horizontal y son las encargadas de resistir las fuerzas gravitacionales transmitiéndolas a los elementos verticales y estos a su vez a la cimentación González, (2020). Con el fin de reducir las deformaciones horizontales producto de la acción de cargas horizontales (viento), se disponen tímpanos o diafragmas en determinados módulos de la retícula aporticada, lo más simétricos posibles para evitar excentricidades por torsión, estos tienen continuidad vertical desde la cimentación hasta el último nivel y se disponen en la planta en igual cantidad en los dos sentidos de la edificación.

Las cargas laterales son resistidas por los elementos que conforman los entrepisos y cubiertas transmitiéndola a los elementos verticales, absorbiendo los tímpanos el 83% de esta sollicitación y los pórticos sólo absorben el 17%. La carga de viento no representa amenaza representativa debido a la relación existente entre altura y lado menor del inmueble. La edificación paralizó su construcción en el año 1992, y se ha mantenido en estado de inactivación desde entonces, sin que se haya obrado alguna acción de mantenimiento o protección de sus elementos fundamentales.

### **3 Resultados y discusiones**

#### **3.1 Análisis de criticidad**

En este caso el análisis se realiza mediante tablas que agrupan y clasifican los deterioros, cuyo estudio logra la jerarquización de los fallos, dependiendo de la

frecuencia de ocurrencia, el impacto y además de la dificultad para la detección de las mismas. Para la jerarquización se le asignará un peso a los parámetros a analizar en cada deterioro a partir de las tablas patrones definiendo la cantidad de veces que aparece el mismo, otro peso según la severidad de su impacto y por último un valor dependiendo de la dificultad para la detección.

La frecuencia de ocurrencia permite medir la frecuencia de aparición del deterioro, se toma como valor de referencia el total de deterioros y el valor a comparar, la cantidad identificada del deterioro analizado.

Para determinar la tabla patrón referida a la frecuencia de ocurrencia, se toma la totalidad de los deterioros representando el 100%, definiendo la frecuencia en Muy Alta, Alta, Media, Baja y Poco frecuente, asignando a cada una un intervalo de ocurrencia en porcentos, como se muestra en la Tabla 1, dando un mayor valor al deterioro que supere el 90% de ocurrencia y un menor valor a aquel que represente menos del 25%. No en todos los casos será necesario determinar el porciento que representa la cantidad de veces que aparece el deterioro, pues se puede considerar el área que ocupa esta lesión con respecto al área de la cubierta, también en términos de porciento.

**Tabla 1.**

*Índice de frecuencia*

Frecuencia	% de ocurrencia	Valor del deterioro	Descripción
Muy Alta	> 90	5	Se busca el % del total de veces que aparece un deterioro con respecto al total de los mismos
Alta	75-90	4	
Media	50-75	3	
Baja	25-50	2	
Poco frecuente	< 25	1	

Fuente: Elaboración propia.

Para la valoración del impacto del deterioro, que se traduce en las consecuencias que se producen por la aparición de la falla, se tiene en cuenta la cantidad de campos en los que incurre. En el caso específico de hospitales se considera la funcionalidad como el aspecto más relevante a tener en cuenta, pues se trata de la instalación donde concurren aquellas personas con la salud afectada y por ello se asigna un valor superior a este campo, disminuyendo razonablemente en otros donde el impacto de las lesiones no genere grandes consecuencias.

Los campos que se definen son: funcionalidad, estructura, salud, confort y estética, disminuyendo su valor en el orden presentado. El valor del impacto del deterioro, no sería más que la sumatoria de los valores que representa cada uno de los campos que serán afectados por el mismo.

**Tabla 2.**

*Índice de impacto*

Impacto del deterioro	Peso del deterioro	Campos que afecta el deterioro		Descripción
		Campo	Valor	
Catastrófico	5	Funcionalidad	1.50	El impacto se tendrá en cuenta según la cantidad de campos que afecte un mismo deterioro
Grandes daños	4	Estructura	1.25	
Daños medios	3	Salud	1.00	
Daños bajos	2	Confort	0.75	
Perceptibles	1	Estética	0.50	

Fuente: Elaboración propia.

En la valoración de la dificultad para la detección del deterioro se asigna el valor o el peso según el grado de dificultad que presente este para ser detectado, en este caso se define dicha detección como: incierta, baja, mediana, alta y casi cierta, dando el mayor valor a aquellos que su detección sea difícil, pues se requiere de equipamiento para ello y un menor valor cuando el deterioro puede ser detectado hasta por el usuario de la edificación, ver Tabla 3. En este estudio utilizó equipamiento, además de inspecciones organolépticas, a través de una comisión de diagnóstico de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA).

**Tabla 3.**

*Nivel de detección del deterioro*

Detección	Peso del deterioro	Descripción
Incierta	5	La detección de ocurrencia de la lesión primaria es solo por medio de tecnología.
Baja	4	Hay pocas posibilidades de detectar la aparición de la lesión primaria (opinión de expertos o tecnología).
Mediana	3	La probabilidad de detección de la lesión primaria es moderada (opinión de expertos).
Alta	2	Casi siempre se puede detectar la aparición de la lesión primaria (no es necesario la opinión de expertos).
Casi cierta	1	Por lo general es fácil de detectar la aparición de la lesión primaria (cualquiera puede detectar la aparición).

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los valores de Frecuencia, Impacto y Detección de las tablas anteriores, se procederá a calcular el valor de criticidad del deterioro, según la Ecuación 1, para obtener un valor cuantitativo con el cual analizar los deterioros y obtener el grado de criticidad de los mismos.

$$C=F*I*D \quad (1)$$

Donde:

F: Frecuencia de fallos

I: Impacto del deterioro

D: Detectabilidad

Para la evaluación de los deterioros basta con aplicar la ecuación antes planteada, sin embargo, otra forma de obtener estos resultados es a través de la Matriz de Criticidad, donde se define la criticidad de cada deterioro en la interacción de la probabilidad de ocurrencia de fallo (frecuencia) y la consecuencia del mismo (impacto), como se muestra en la Tabla 4. Esta matriz presenta forma escalonada y muestra a través de colores cuán crítico resulta un deterioro haciendo uso de los valores obtenidos para la frecuencia y el impacto. Resultará el deterioro más crítico el que presente el mayor valor de frecuencia y el mayor valor de impacto y el de menor criticidad, aquel que menos veces aparece y que influye negativamente en el menor número de campos.

**Tabla 4.**

*Matriz patrón de criticidad.*

Matriz de criticidad		Impacto				
		1	2	3	4	5
Frecuencia	5	MC	AC	AC	MAC	MAC
	4	MC	MC	AC	AC	MAC
	3	BC	MC	MC	AC	MAC
	2	BC	BC	MC	AC	AC
	1	MBC	BC	MC	MC	AC

Escala de colores

MAC	AC	MC	BC	MBC
Muy alta criticidad	Alta criticidad	Media criticidad	Baja criticidad	Muy baja criticidad

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2 Análisis de modos de fallas, efectos y su criticidad (FMECA)**

FMECA es una técnica cualitativa asociada a la predicción de la fiabilidad y un medio utilizado para saber cómo mejorar la fiabilidad de un diseño; también se aplica al estudio de la mantenibilidad y seguridad. Este análisis sirve para determinar qué partes fallan, la causa del fallo y qué efectos tiene en el funcionamiento global del sistema. Consiste, en términos generales, en la identificación y tabulación de los modos de fallo del ítem, la descripción de sus efectos y la evaluación de su importancia (carácter más o menos crítico). Este análisis es un procedimiento iterativo, extendido a lo largo del diseño y desarrollo del sistema, que se aplica a cualquier nivel de integración: sistema, subsistema o componente en general.

En este estudio se realiza el análisis de modos de fallas evaluando para cada deterioro la ecuación de criticidad que toma en cuenta la detectabilidad, es decir, cuál es la dificultad para detectar el deterioro, a partir de ello se ordenan las fallas de mayor a menor criticidad, además se exponen las posibles causas y las consecuencias que pueden desencadenar.

La depreciación de la vida útil pronosticada de las construcciones afecta notablemente la esfera económica de los países. Esta situación es crítica en aquellos cuyas características atmosféricas, suelos y agua son agresivas para el hormigón armado, hechos que favorecen el desencadenamiento y desarrollo de los procesos de degradación. A esta situación debe agregarse la influencia de altas temperaturas y elevadas concentraciones de humedad (Traversa, 2012).

Cuba, ubicada en el mar Caribe, exhibe un maravilloso clima tropical que favorece el crecimiento de la actividad turística, a la vez que, constituye un fenómeno creciente ante la vulnerabilidad de sus construcciones.

La costa norte de Matanzas, principalmente la zona que comprende la bahía del mismo nombre, alberga el asentamiento más importante de la zona, la ciudad de Matanzas, cuyos valores arquitectónicos de sus edificaciones están en riesgo creciente ante el impacto medioambiental (ver Fig. 2).



**Fig. 2.** Imagen satelital de la urbe yumurina y su bahía.

En la ciudad de Matanzas, se aprecia una topografía irregular en forma de anfiteatro natural, y sus costas alcanzan un perímetro de aproximadamente 19 km y un área de 35.8 km<sup>2</sup>. Su bahía tiene una profundidad máxima de 712 metros y presenta un prisma medio de marea de 2.2 millones de metros cúbicos aproximadamente, considerada su amplitud media de marea de 0.60 m. Posee un relieve bastante accidentado de colinas de mediana altura hasta cotas cercanas a los 100 m sobre el nivel del mar, salvo al sur de la bahía y cerca de los ríos.

La zona costera matancera en toda su porción norte es de carácter estructural, acantilado y abrasivo, interrumpida por pequeñas ensenadas, caletas y las desembocaduras de los ríos que se abren al mar después de cortar mediante profundas abras en las alturas costeras. De acuerdo con esto es posible subdividir a la bahía en tres zonas: Zona esturiana: comprende el área poco profunda de la bahía, entre 0 y 30 m, definida por el área de terrazas submarinas frente a los ríos Yumurí y San Juan; la zona tradicional: es una región de declive en aumento que constituye más del 30 por ciento del fondo de la bahía y se encuentra en la parte intermedia de la zona esturiana y oceánica, y la zona oceánica: que se extiende desde el mar abierto hasta las inmediaciones de la desembocadura del río Canímar siendo la más profunda (Ortega, 2012).

La hidrografía está integrada por los ríos Yumurí, San Juan y Canímar, que desembocan en su bahía, la cual alberga un alto valor histórico, cultural y paisajístico, motivo de inspiración por su belleza natural y pintoresca. Se caracteriza por ser amplia y abierta, con unos 5 km de ancho en su boca y más de 9 km hacia su interior.

El clima de esta zona está caracterizado por una temperatura promedio de los 30 grados y una mínima de 19,30, las más frías en enero y más altas en julio y agosto.

En general es un clima cálido y húmedo prevaleciendo lo último por la presencia de los ríos: Yumurí, San Juan y Canímar que atraviesan la ciudad. Los acumulados de lluvia en las zonas costeras suelen ser menores que hacia el interior.

Esta zona presenta suelos con base de roca caliza donde la roca madre puede encontrarse a una profundidad menor de 1m. La fertilidad varía de media a baja. Predomina a nivel general los suelos arcillosos, relativamente joven, poco desarrollado, con poco espesor, con presencia de pedregosidad intercalada con el suelo, alta salinidad, y poca pendiente.

La vegetación original costera son los matorrales xeromorfos y bosques siempre verdes micrófilos en las llanuras carsificadas, y los bosques de mangles en las llanuras muy bajas y pantanosas, además de los uverales y complejos de vegetación de costa arenosa en playas, y el complejo de vegetación de costa rocosa en los bordes costeros de las terrazas marinas, abrasivo-acumulativas. A estas formaciones vegetales costeras se asocia una fauna característica de zonas costeras, también conocida como xerófila, muy rica en reptiles y aves. Pero toda esta vegetación y condiciones geográficas originales han sido totalmente modificadas.

Una parte muy significativa de las edificaciones matanceras se encuentra en su zona costera, expuestas a condiciones y a eventos extremos, por lo que merecen un trabajo de protección y de conservación específica y rigurosa. Se ha reconocido que el incremento del nivel del mar y la frecuencia e intensidad de estos eventos asociado al cambio climático global previsto, afectan el ecosistema costero y sus edificaciones.

### **3.3 La agresividad corrosiva de la atmósfera matancera**

En Cuba debido a su forma geográfica existe una gran influencia del aerosol marino lo cual trae consigo un mayor grado de deposición de iones cloruro y(o) sulfato.

Se entiende por deposición la cantidad de partículas salinas de iones cloruro y(o) sulfato que tienden a depositarse en un captador, así como en las superficies de la infraestructura civil, mientras el aerosol marino es transportado desde el mar hacia el interior de la tierra. Este concepto está referido solamente a estudios de corrosión atmosférica.

Las partículas formadas en el interior del océano suspendidas en el aerosol marino al presentar un menor peso y tamaño, son capaces de penetrar y depositarse hasta grandes distancias desde el mar en el interior de la tierra. De ahí, la razón por

la cual la deposición de las sales de iones cloruro como principal agente provocador del impacto del ambiente agresivo costero tiende a disminuir en función de la distancia desde el mar. Incluso, en ocasiones esa disminución ocurre de manera abrupta y más si existen condiciones de apantallamiento.

Esto hace que disminuya el impacto del ambiente agresivo costero o la agresividad corrosiva de la atmósfera con el incremento de la distancia desde el mar para las estructuras de hormigón armado o las construidas con los materiales metálicos más usados en la industria de la construcción.

Para el estudio de esta zona costera se empleará la primera variante de estimación de la agresividad corrosiva de la atmósfera aplicada por Albear y Valdés (2017), la cual se basa en la obtención de la información medioambiental.

La deposición promedio anual sería de 1 520,1 mg/m<sup>2</sup>d y 1 557,62 mg/m<sup>2</sup>d. Por lo que las deposiciones promedio se encuentran en el intervalo entre  $300 < S_3 \leq 1 500$  y por encima de 1 500 mg/m<sup>2</sup>d según las categorías de clasificación exigida en la norma ISO 9223.

A partir de la extrapolación de los estudios realizados por Albear y Valdés, en 2017, se puede extrapolar que la zona de trabajo se clasifica como un ambiente costero.

#### **3.4 Factores que afectan la durabilidad de las construcciones costeras**

Factores como la humedad ambiental, temperatura, agresividad del mar ligados a procesos y tecnologías de hormigonado deficientes por la escasez de recursos que impone el subdesarrollo, hacen que la región del Caribe, específicamente Cuba, sufra con mayor intensidad de patologías que afectan la durabilidad de sus estructuras de hormigón armado. Para estos países el acortamiento de la vida útil de las estructuras resulta altamente perjudicial para su economía (Traversa, 2012).

En ambientes marinos, los cloruros son el principal inconveniente, puesto que se encuentran tanto en la humedad de la atmósfera como en la propia agua de mar. Entre sus principales efectos se encuentra la corrosión del acero, debido a la penetración a través de las fisuras del hormigón que provoca la destrucción de la capa pasivante del mismo. Se pueden resumir diversos factores influyentes en estos procesos, como son:

- El anhídrido carbónico de la atmósfera y de todas las sustancias ácidas en general, pues reacciona con las sustancias alcalinas del hormigón. Este proceso es conocido como “carbonatización” y la velocidad con que ocurre va a depender del espesor de recubrimiento y la porosidad del hormigón. Entre sus consecuencias se encuentra el descenso del pH hasta provocar la destrucción de la capa pasivante y por lo tanto la corrosión del acero.

- La humedad, pues es uno de los principales provocadores de la corrosión. Esta ocurre a través de la saturación de los poros del hormigón. También se debe tener en cuenta la humedad ambiental y la capacidad del hormigón de conservar agua debido a las tensiones capilares. Esta afecta de manera especial a elementos que no se diseñaron para soportarlo durante tiempos prolongados, y propicia la aparición de hongos y microorganismos

- El relieve es un factor muy importante debido al diseño de los edificios y la cantidad de recursos destinados a la nivelación del mismo. Este factor constituye un problema diario puesto que las construcciones se realizan de manera cotidiana sobre pendientes casi llanas en su mayoría. Y cuando se construye sobre superficies irregulares el gasto de recursos es mayor.

- La temperatura es otro factor desencadenante de la corrosión, pues se ha visto que en condiciones normales de las demás condicionantes, los climas más cálidos son más agresivos. Se establece que por encima de los 20°C se producen cambios bruscos en el proceso de corrosión. También las bajas temperaturas traen consecuencias negativas pues provoca la condensación y produce incrementos locales de la humedad del material.

- El viento es otro factor importante, pues si se tiene en cuenta el incremento de estos y la mayor frecuencia e intensidad de las tormentas debido al cambio climático puede provocar daños estructurales en las construcciones

Lo antes expuesto demuestra la gran agresividad ambiental a las que están expuestas las edificaciones costeras y si a esto se le adiciona las grandes afectaciones ocasionadas por el cambio climático, resulta fácil comprender que la durabilidad de las mismas constituye un grave problema.

### 3.5 Casos de estudio analizados

Las edificaciones analizadas se encuentran ubicadas en la zona costera de la ciudad de Matanzas, se distinguen la mayoría, por presentar valores patrimoniales aunque difieren en tipologías constructivas, época de construcción, materiales, etc.

**Tabla 5.**

*Edificaciones diagnosticadas entre 2019-2021.*

Época	Edificación	Evaluación
1832	Iglesia de San Juan de Pueblo Nuevo	M
1835	La Biblioteca Gener y del Monte-Antiguo Casino Español	M
1ra mitad del siglo XIX	Casa de la UPEC	M
Siglo XIX	Bodega El Manantial	M
1884	Hotel Yara	M
Siglo XIX	Local de vectores Municipio Matanzas	R
Siglo XIX	Terminal de Ómnibus	M
1902	Escuela de oficios de la ciudad de Matanzas	B
1921	IPU José Luis Dubrocq	M
1925	El Bahía	B
1ra mitad del siglo XX	Cafetería El Rápido de Versalles	M
1ra mitad siglo XX	Escuela Especial Frank País	M
1ra mitad siglo XX	Círculo Infantil Estrellitas Nacientes	R
Década de 1940	Antigua Destilería Bellamar	M
2da mitad siglo XX	Consultorio Médico El Bolo-Resplandor	R
2da mitad siglo XX	Tiendas de ARTEX	M
1963	UEB Rayonitro	M
1980	SAF Yumury	R

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera en Luanda su capital Angola, se muestran (ver Fig. 3):



**Fig. 3.** Imagen satelital de la urbe angolana y su bahía.

### **3.6 Principales deterioros detectados**

El hormigón al estar expuesto a ambientes agresivos puede presentar procesos de deterioro. Estos pueden ser clasificados como: físicos, causados por la exposición a cambios ambientales extremos tales como ciclos de hielo/deshielo o cambios artificiales como la exposición al fuego; químicos, causados por ataques por ácidos y/o sulfatos, agua, o reacción álcali-árido; biológicas y estructurales (presencia de bacterias, sobrecargas, ciclos de cargas, etc.). La corrosión del acero de refuerzo está ligada con los procesos de deterioro del hormigón, debido a que conduce al agrietamiento y delaminación del material y además reduce su adhesión al refuerzo (Aguirre, 2013).

Los principales deterioros detectados durante los diagnósticos realizados en los diferentes casos de estudio son los siguientes:

- Corrosión de aceros de refuerzo en estructuras de hormigón armado,
- Corrosión de elementos metálicos,
- Filtraciones de cubiertas y lesiones asociadas,
- Humedades por acción capilar y por filtraciones,
- Pérdida de revestimientos, fisuras, grietas y desconchados,
- Desplomes y colapsos de elementos estructurales en casos críticos,
- Deterioro de las redes eléctricas e hidrosanitarias,
- Deterioros en la carpintería,
- Afectaciones en las fachadas, degradando la imagen urbana.

### **3.7 Valoración del impacto medioambiental en las construcciones costeras patrimoniales**

El clima en ambos casos de estudios es hoy más variable y cálido. La temperatura promedio anual aumentó 0.6 grados Celsius desde mediados del pasado siglo. El nivel del mar ha subido hasta 8.56 centímetros en los últimos 40 años, en ciertos lugares. El 71% de las crestas de arrecifes de coral tienen un alto nivel de deterioro. El 84% de las playas están afectadas por la erosión que generan la acción del hombre y el oleaje intenso de los ciclones tropicales y los frentes fríos, entre otras causas, y se estima un retroceso de la línea de costa de 1.2m (Rivero, 2013).

Las variables ambientales de la zona costera de Matanzas y en Luanda constituyen factores que inciden en el notable deterioro de sus construcciones patrimoniales, ya que las mismas fueron erigidas, en una época donde no se tenía

en cuenta el impacto del clima sobre las construcciones y no se contaba con normas o regulaciones que aseguraran una adecuada calidad en cuanto a materiales componentes.

Es notable, la acción de los aerosoles marinos sobre las edificaciones costeras, siendo las más afectadas, aquellas más próximas al mar, desencadenando los feroces procesos de corrosión que unidos a la falta de políticas eficaces de mantenimientos, destruyen a ritmos alarmantes el patrimonio edilicio matancero.

Pero no solo la acción del ion cloruro impacta sobre lo construido, se evidencia un número creciente de afectaciones por carbonatación, fundamentalmente en zonas concurridas de la urbe donde la acción del tráfico vehicular incide drásticamente.

Por otro lado, el binomio humedad-temperatura crea oportunidades para la proliferación de lesiones por humedad y de agentes bióticos como xilófagos y hongos, que destruyen elementos sensibles como carpintería, elementos decorativos, fachadas y falsos techos.

El impacto de todos estos factores ambientales sobre las construcciones se intensifica aún más debido a la mala calidad de los materiales constitutivos de edificios patrimoniales, siendo la alta porosidad uno de los problemas que destruyen desde adentro estos inmuebles. A todo ello se suma además, la acción del cambio climático que intensifica el poder destructivo del ambiente marino-costero y la agresividad de su atmósfera.

#### **4 Conclusiones**

A partir de todo lo expuesto, se concluye que las variables medioambientales, como: incidencia de los vientos que arrastran hacia el interior los aerosoles marinos, el binomio humedad relativa-temperatura, las fuertes y prolongadas precipitaciones, la agresividad corrosiva de la atmósfera costera; generan un impacto sobre las edificaciones, el cual aumenta a medida que se intensifican los fenómenos meteorológicos y la variabilidad del clima producto del cambio climático. Estos impactos que sufren las construcciones por cargas ambientales, contribuyen a disminuir las propiedades de los materiales componentes y de esa manera, se amplifican los procesos patológicos que son propios de cada tipología constructiva y material.

A todo ello, se debe agregar la contaminación ambiental producida por la emanación a la atmósfera del dióxido de carbono, causante también de la degradación de los inmuebles patrimoniales. No obstante, dicha situación puede ser mitigada, mediante la aprobación y puesta en práctica de políticas eficaces de mantenimientos preventivos, capaces de reducir al mínimo las vulnerabilidades producidas por la incompatibilidad de los materiales de construcción, la ubicación de los inmuebles incluso las técnicas de intervención, para así, poder garantizar la implementación de tratamientos adecuados para cada edificación patrimonial, haciéndolas mucho más resilientes y duraderas.

### **Referencias bibliográficas:**

- Aguirre, A. M. & Mejía de Gutiérrez, R. (2013). Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. *Materiales de Construcción*, 63(309), 7-38. <https://doi.org/10.3989/mc.2013.00313>
- Albear, J. J. & Valdés, A. C. (2017). *El ambiente agresivo costero de La Habana y su impacto sobre las estructuras de hormigón armado*. Científico-Técnica. La Habana.
- Cuba. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. (2000). *Decreto Ley 212 "Gestión de la Zona Costera"*. Gaceta Oficial No.68 Ordinaria. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-68-ordinaria-de-2000>
- Diéguez Cruz, I. R.; Calderín Mestre, F. & Ruíz Ruíz, J. M. (2011). Diagnóstico estructural de los edificios IMS 18 niveles del centro urbano Sierra Maestra. *Ciencia en su PC*. 1(1), 47-57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181317871005>
- González López, L. (2020). Determinación de las solicitudes para el diseño de la cimentación del silo de almacenamiento de arroz. *Estrategia Y Gestión Universitaria*, 9(10), 29-43 <https://revistas.unica.cu/index.php/regu/article/view/1114/2505>
- Herrán, C. (2019). *El Cambio Climático y sus consecuencias para el A.L. Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES*. <https://www.fes-energiayclima.org/>
- León, L. A. (2015). Conservación del Patrimonio Costero en Cuba. Caso de Estudio. El Morrillo. Universidad de Matanzas. Cuba.

Norma ISO 9223. (1992). Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Classification.

Ortega Ramos, B. (2012). *Pronóstico y propuestas de los lineamientos generales para el ordenamiento y la gestión ambiental de la zona costera del municipio de Matanzas*. Trabajo en opción al título de máster en geografía. Universidad de la Habana, Cuba.

Rivero Rosario, O. (2013). *La experiencia de Cuba frente al cambio climático*. Dirección de Medio Ambiente CITMA. Santiago de Chile. Chile. <https://cepal.org/sites/default/files/events/files/omar.rivero.pdf>

Solís Carcaño, R. G.; Moreno, É. I. & Castro Borges, P. (2023). Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera. *Ingeniería*, 9(1), 13-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46790102>

Traversa, L. P. (2012). *Durabilidad de las estructuras de hormigón armado*. Laboratorio de entrenamiento multidisciplinario para la investigación.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no incurre en conflictos de intereses.

### **Rol de los autores**

Manuel Pedroso Martínez, original de Cuba, título profesional Ingeniero Civil. Profesor catedrático, Doctor en Ciencias. Participante en eventos, congresos, webinar internacional, autor de libros y publicaciones en revistas científicas.

### **Declaración de responsabilidad autoral**

Manuel Pedroso Martínez 50%

João Pedro da Fonseca 25%

Osbel Morales Armas 25%

### **Fuentes de financiamiento**

Los autores declaran que no recibieron un fondo específico para esta investigación.

### **Aspectos éticos**

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.