



Edificio experimental de suelo cemento en Cocoso. Fuente: Autores, 2024-

Alfonso Alfonso-González
Gabriela Peterssen-Soffia

Crisis energéticas y construcción de viviendas en Cuba: retrospectiva de investigaciones sobre materiales de bajo consumo energético

Energy Crises and Housing Construction in Cuba: Retrospective of Research Results Concerning with Low Energy Consumption Materials

RESUMEN: Las crisis económicas y energéticas en Cuba han reducido severamente la producción de viviendas, efecto no contrarrestado por las políticas actuales de construcción. El análisis retrospectivo de investigaciones anteriores y de experiencias discontinuadas, tuvo como objetivo demostrar el potencial de ciertos materiales de construcción para atenuar los impactos de las crisis. Se aplicaron métodos de investigación histórica y documental, técnicas comparativas y de análisis-síntesis, para procesar la información bibliográfica, los documentos consultados; los resultados de laboratorio; y valorar las observaciones de campo a obras experimentales construidas. Se reconocen las cualidades constructivas y ahorradoras de energía de los bloques prensados de suelo-cemento, y las ventajas de utilizarlos en condiciones de crisis continuadas. Se propone incorporar al plan nacional de construcción de viviendas los bloques prensados de suelo cemento, u otros con propiedades similares de resistencia; durabilidad; posibilidad de producción local; economía; adecuación ambiental; bajo consumo energético y baja emisión de CO₂.

PALABRAS CLAVE: bloques prensados de suelo cemento; materiales ahorradores energéticos; influencia ambiental; planes de construcción de viviendas en Cuba; crisis energéticas en Cuba

ABSTRACT: The successive economic and energy crises in Cuba have severely reduced the production of houses, effect not confronted by the current building housing policy. The retrospective analysis of previous research results and several experiences have been carried out with the objective to demonstrate the potential of certain building materials in order to attenuate the impacts of energy crises. Historical and documental research methods, as well as comparative and analysis-synthesis techniques were applied in order to process the bibliographical information and consulted documents; laboratory results; and field studies dealing with experimental buildings under use. The constructive and energy-saving qualities of pressed soil-cement blocks are recognized, and the advantages of using them in conditions of continued crisis. It is proposed to incorporate into the national housing construction plan, pressed soil-cement blocks or others with similar resistance properties; durability; possibility of local production; economy; environmental suitability; low energy consumption and low CO₂ emission.

KEYWORDS: pressed soil-cement blocks; energy-saving materials; environmental influence; building housing Cuban plans; energy crises in Cuba

RECIBIDO: 29 enero 2024 ACEPTADO: 7 marzo 2024

Introducción

Poco se ha divulgado acerca de los resultados de investigaciones realizadas en Cuba sobre materiales de construcción para atenuar el impacto negativo de las crisis energéticas y económicas que han estado afectando el volumen de producción de vivienda social.

Cuando en 1895 apareció en la calle habanera Zanja la primera Planta de cemento de América Latina denominada “Cuba”, con una producción de solo 20 toneladas diarias, se estaba dando inicio a la sustitución gradual de los materiales de construcción utilizados en el país durante el período colonial, por aquellos que se elaboraban con cemento Portland. Tal proceso, inicialmente lento, sufrió una aceleración a partir de la segunda mitad del siglo XX, con el vertiginoso incremento de las capacidades de producción de cemento, llegando a 13 millones de toneladas a mediados de la década de los años 80 [1], lo que contribuyó a la generalización del uso predominante de este aglomerante, principalmente en las zonas urbanas. En 1981 las paredes de mampostería de materiales producidos con cemento, –bloques y hormigón–, además de ladrillos de cerámica cocida, alcanzaban el 98% de las viviendas urbanas. [2].

Sin embargo, en el último cuarto del siglo, el cemento comenzó a ser cuestionado por razones de tipo ambiental, debido a los contaminantes que emitía a la atmósfera durante su producción. Ello motivó que se exploraran diversos materiales capaces de sustituir o disminuir el impacto negativo al medioambiente; y que al mismo tiempo fueran resistentes a las características climáticas severas y a ocasionales movimientos telúricos que se registran en algunas partes del territorio [3].

Algunos profesionales e investigadores del país en los años 80 habían apostado a diversas técnicas de construcción con tierra¹ por sus peculiares propiedades, entre ellas, las ambientales; y acometieron investigaciones en las que se destacaron Beatriz Saroza u otros profesionales de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV); e iniciativas para implementar su aplicación; en ocasiones con la colaboración de especialistas extranjeros². En La Habana, algunos estudiantes de arquitectura³, en la década de los años 80, motivados por la política de desarrollo de asentamientos rurales del Plan Turquino, se habían interesado en las tradicionales construcciones con tierra, –adobes, tapiales, embarrados, etc.–, muy utilizadas en otras regiones; de fácil acceso para sectores populares; con procesos de producción no contaminantes, y otras ventajas. Así, en esa década se realizaron diversas acciones, como el estudio de técnicas de ensayo manual; el compendio de los tipos de suelos en el país; y se elaboraron propuestas de conjuntos de viviendas de adobe para zonas rurales; aunque encontraron adversidades ante las condiciones climáticas cotidianas y extremas del país.

Adicionalmente, en esa misma década, grupos de alumnos y profesores de la Facultad de Arquitectura de La Habana (FA)⁴ investigaron las propiedades físicas y visuales de algunas mezclas con estabilizadores orgánicos, como la melaza de caña; la savia del plátano; la paja de caña; sangre; y diversas fibras vegetales, como yute; henequén; coco; u otras. Varios de los resultados fueron reconocidos por el Sistema de Educación Superior, y recibieron en 1990 un premio en la 1ra Bienal de Arquitectura y Urbanismo; y en 1992, en Navápalos, durante el Concurso Iberoamericano de Habiterre: “Viviendas Contemporáneas de Tierra” (Figura 1), llegaron hasta la discusión por el primer lugar.

- [1] Ministerio de Economía y Planificación. Situación energética en la industria. Diagnóstico Energético. Rama Cemento. Inspección Estatal Energética. [Internet]. 2000 Mayo [consultado: 2 de enero de 2024]. 84 p. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/cement-o-2-pdf-free.html>.
- [2] De Las Cuevas J, Sala G, Padrón A. 500 años de Construcciones en Cuba. Madrid: DV Chavín; 2001.
- [3] Atlas Nacional de Cuba. LX Aniversario. [Internet]. 2022 [consultado el 4 de enero de 2024]. Disponible en: <https://atlas-geotech.cu>

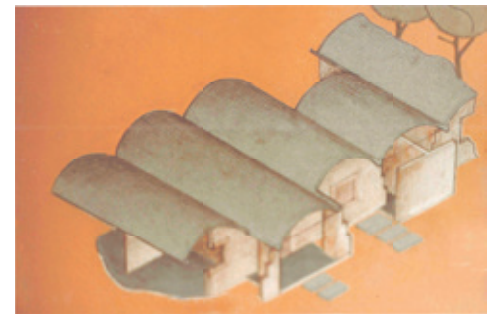


Figura 1. Casa de Tierra. Projectistas: A. Alfonso; A. San-Miguel y J. Planas. Concurso Internacional Habiterre, Navápalos. Fuente: Archivo de los autores, 1990.

¹ En lugar de emplear el término “barro”, muchos autores han recurrido al vocablo “tierra”, probablemente por transmitir fácil acceso o adquisición, al ser un material extraíble de un sitio próximo, “que está bajo nuestros pies”, de fácil identificación popular, y que ha sido tradicionalmente utilizado desde hace siglos para construir.

² Entre ellos: Gernot Minke (Kassel), H. Guillaud (Grenoble)

³ Entre ellos: Vilma Bartolomé, Greta Balín, Rafell Enríquez, Alina Rodríguez, María V. Benito, Julio Olmedo, Laritza Díaz, Alejandro Álvarez, Virginia Vallejo, Diana Tenorio, Iván Papiol, Andrea Cabrera, Milagros Bolaños, Yaumara Cordero, Roniel Reyes, Noel Febles, Diadenis Núñez, Abel Esquivel, Enrique Alonso, María E. Rodríguez, Abiel San-Miguel y José Planas.

⁴ Tanto la Facultad de Arquitectura de La Habana como el CECAT pertenecían en esa fecha al Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, hoy Universidad Tecnológica de La Habana.

No obstante, a inicios de la década de los años 90, tuvo lugar en Cuba una etapa de profunda crisis económica y energética conocida como “Período Especial en tiempo de Paz” [4]; con una marcada escasez de recursos y energía, que motivó una severa contracción de la producción en general y del volumen de viviendas producidas [2]. Cuba perdió sus principales socios comerciales con los cuales tenía establecido el 75% de su comercio e intercambio económico. Entre 1989 y 1993 el Producto Interno Bruto (PIB) disminuyó al 35%, y la disponibilidad energética cayó al 50% [4]; el suministro de petróleo de 13 millones de toneladas se desplomó a partir de 1989, hasta 6 millones en 1993, y devino una profunda crisis económica que se reflejó, entre otros renglones, en la caída de la producción de cemento en 1993 y 1994 hasta menos de un tercio de la media producida en los años 80 [1]; que virtualmente paralizó las obras.

Ante las nuevas circunstancias que impuso esa crisis, se hizo evidente la alta dependencia del volumen de la producción de viviendas con respecto a la disponibilidad de cemento y combustible, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación entre disponibilidad de combustible, producción de cemento y viviendas construidas en los primeros 5 años del Período Especial.

Primeros 5 años del Período Especial	1989	1990	1991	1992	1993
Combustible consumido en cemento (t)*	499 133	427 755	244 814	157 014	153 635
Cemento gris producido cada año (Mt)*	3 758	3 288	1 850	1 135	1 057
Viviendas construidas totales (Unid)**	39 958	36 326	26 205	20 030	26 128

Fuente: Elaboración de los autores a partir de: [1]*, 2000; ONEI [5] **, 2021; Planos y Gutiérrez [6]**, 2022.

La crisis ralentizó el proceso de edificación de nuevas viviendas e hizo evidente la necesidad de un cambio conceptual con respecto a los materiales de construcción utilizados en etapas precedentes. Las condiciones de la realidad imponían reducir el consumo energético en la producción de materiales y componentes constructivos de la vivienda para poder mantener la construcción de las cantidades necesarias en periodos de carencias. Sin embargo, no se contaba en ese entonces con el conocimiento suficiente sobre materiales de construcción de bajo consumo de energía a los cuales recurrir, con reducidos niveles de emisión de contaminantes, y que simultáneamente fueran duraderos, resistentes a las solicitaciones estructurales y a condiciones físico-ambientales severas. Entre varias alternativas, se propuso al “suelo”⁵ estabilizado como una solución posible por ser un material sostenible, localmente disponible, y que, coincidiendo con Alkarem, y otros [7], aumentaba su resistencia cuando se mezclaba con estabilizadores; por lo que se optó por explorar mezclas comprimidas con cemento, posibilidad relativamente nueva, sobre la cual no existía suficiente conocimiento ni experiencia previa en el país.

Las instituciones involucradas definieron nuevas directivas en su ámbito; se activaron campañas oficiales con el lema de construcciones con “bajo consumo material y energético”, que prestaron particular atención al suelo-cemento (SC), y se redactaron indicadores técnico-económicos específicos

[4] González D. ¿Viviendas de bajo consumo material y energético? Crisis de los 90 en Cuba. Revista Arquitectura y Urbanismo [Internet]. 2023 mayo-agosto [consultado: 10 de diciembre de 2023];44(2):17-33. Disponible en: <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/776>

[5] ONEI. Anuario estadístico de Cuba. [Internet]. 2022 [consultado: 14 de enero de 2024];2022:286-293. Disponible en: <https://www.onei.gob.cu/anuario-estadistico-de.cuba-2022>

[6] Planos EO, Gutiérrez TL. Editores. Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. [Internet]. 2020 [consultado: 15 de agosto de 2023]: p. 403. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Third%20National%20Communication.%20Cuba.pdf>.

[7] Ikram Ameer S, Thaer Jasim M, Sawsan Abd-Alkarem J. Production of Earth Units Compressed and Stabilized by Using Cement and Pozzolana. IOP Conference Series:Materials Science and Engineering. The Fourth Scientific Conference for Engineering and Postgraduate Research 6-17 December, Baghdad,Iraq [Internet]. 2020 [consultado el 11 de enero de 2024];745(13). Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012126>

⁵ El material “suelo” procede de fuentes cercanas, está compuesto por partículas de arcilla, arena y limo. Para su uso en la construcción excluye componentes orgánicos, y tiene la opción de poder modificar la composición granulométrica original, mezclarse con estabilizadores y aditivos, y ser prensado para mejorar sus propiedades.

e instrucciones técnicas como la IT-07-91: CODASE, dirigidas a regular las propiedades resistentes que debían ser cumplidas. Se desarrollaron investigaciones por el Centro de Estudios de la Construcción y la Arquitectura Tropical (CECAT) (Figura 2) que arrojaron resultados ventajosos del suelo-cemento (SC); coincidentes con los reportados por fuentes internacionales de diversos autores.

Resultados adversos obtenidos en algunas experiencias implementadas con el suelo-cemento en esos años, por la escasa información y el desconocimiento relativo sobre ese material; produjeron desmotivación y discontinuidad en su implementación productiva. A pesar de sus positivas cualidades, aun hoy permanece excluido de la política nacional de vivienda de Cuba, lo que requiere una revisión, cuya argumentación constituyó el objetivo principal del presente trabajo, para lo cual se formularon las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué experiencias se desarrollaron en relación con el uso de materiales de construcción para ahorrar energía y reducir las emisiones de gases dañinos al medio ambiente? ¿Reúnen los bloques prensados de suelo-cemento propiedades de resistencia, durabilidad, economía y facilidad de construcción local? ¿Son ahorradores de energía y recursos materiales? ¿Poseen las cualidades convenientes para producir viviendas en las condiciones de Cuba? Ante la continuidad de las persistentes crisis económicas, energéticas y ambientales en el país, ¿es recomendable incorporar como parte de la política de la vivienda, el uso de bloques prensados de suelo-cemento como material de construcción, u otros con similares propiedades favorables?

Materiales y métodos

El contenido del presente artículo incluye una retrospectiva histórica de investigaciones realizadas en las últimas cuatro décadas, destinadas a encontrar materiales eficientes tanto desde el punto de vista medioambiental como energético, que posibilitaran mantener el ritmo de construcción de viviendas sociales ante el continuado impacto de las reiteradas crisis económicas, productivas y escasa disponibilidad energética en Cuba. Partiendo de que la reducción de cemento Portland en la construcción contribuye a minimizar el gasto de energía y favorece la edificación de viviendas en condiciones de crisis energéticas, la búsqueda estuvo dirigida a reunir información sobre el uso del cemento como estabilizador de diversos agregados, principalmente suelo extraído del propio sitio, y de otros materiales utilizados para sustituir la arena y los componentes pétreos habituales en los bloques tradicionales de hormigón. Para ello se realizó la exploración de diversas investigaciones precedentes, así como la revisión y discusión bibliográfica, tanto de los presupuestos teóricos, como de los resultados prácticos nacionales e internacionales antecedentes que incluyeron los desarrollados por los propios autores y sus colaboradores.

Se tuvieron en cuenta las necesidades materiales, económicas y ambientales del país; la influencia de las características climáticas y de los eventos extremos del contexto; los requisitos técnicos; los recursos disponibles; los cálculos y ensayos de laboratorio realizados; y la observación del comportamiento de las muestras en los ensayos de laboratorio.

La investigación se complementó con la valoración *in situ* de un prototipo experimental acometido en 1990 en Cocosolo, La Habana; a partir de un proyecto desarrollado por los autores de este artículo, con el apoyo del



Figura 2. Testigo expuesto a la intemperie en el CECAT de bloques prensados de suelo-cemento con muestras de revocos diversos. Foto de Archivo de los autores, 1990.

CECAT y del departamento Tropenbau de la HAB Weimar [8]. Se trata de un edificio de bloques prensados de suelo-cemento, de dos plantas, con cuatro apartamentos, que sirvió para implementar los procesos de producción de elementos componentes y ejecución de obra, concluida por los propios constructores locales en 1993. Luego de un periodo considerable de haber sido construida la edificación, se pudo verificar la durabilidad y estabilidad estructural, identificar los deterioros, e indagar sobre la fase de uso durante treinta años de explotación, a través de entrevistas realizadas a residentes de esas viviendas.

Estos procedimientos utilizados en la investigación de campo permitieron verificar las ventajas de utilizar materiales económicos de producción local para construir viviendas sociales en Cuba aún bajo las severas condiciones de las continuadas crisis energéticas sistémicas, lo que evidenció la conveniencia de revisar la política de construcción de viviendas prevista para los próximos diez años y propiciar la inclusión del uso de bloques prensados de suelo-cemento y de otros materiales económicos con propiedades similares.

Resultados

El contexto físico-ambiental cubano

El clima de Cuba es cálido húmedo, con altas humedades relativas, y dos estaciones, seca y lluviosa, con precipitaciones abundantes e inundaciones ocasionales de zonas bajas [6]. Los vientos predominantes provienen del Este [9] y desde otras direcciones en condiciones de tormentas, lo que es un inconveniente para materiales absorbentes y con baja resistencia ante la humedad, cuyas propiedades resistentes tienden a reducirse considerablemente cuando se humedecen, característica excluyente para muchos materiales de construcción “alternativos”.

También en Cuba se registran movimientos sísmicos ocasionales [3], la mayoría en la región oriental y generalmente de baja intensidad, aunque ocasionalmente algunos son muy destructivos, como ha demostrado Cotilla [10]. Sin embargo, los mayores inconvenientes se derivan de encontrarse la isla, según Carrodegua [11], en la franja de tránsito de los huracanes que anualmente azotan al Caribe, y que a causa del proceso de calentamiento climático, han estado incrementando su frecuencia e intensidad cada año, acentuando consecuentemente los riesgos que presupone su alto efecto destructivo. Los registros de la cantidad de huracanes que anualmente han afectado a Cuba, según categorías e intensidad, presentan diferencias según las diversas fuentes, por lo que se tomaron los datos del INSMET [9] para el periodo total, en la escala Saffir-Simpson (Tabla 2).

Tabla 2. Huracanes que históricamente han azotado a Cuba.

Escala Saffir-Simpson	1	2	3	4	5	total
Cantidad de huracanes entre 1791 y 2016.	59	29	17	13	3	121

Fuente: INSMET [9] 2022.

Lo anterior exige contar con buenas soluciones estructurales y materiales de construcción que sean altamente resistentes a los fuertes vientos y copiosas lluvias; requisitos que en las primeras décadas del siglo XX, en opinión de Pinkay y otros [12], promovieron la preferencia y acelerada generalización de los hormigones y morteros convencionales elaborados con mezclas de cemento Portland con áridos como agregado.

[8]. Richter A, Alfonso A. Imposed traditions? Experiments with loam and soil cement in Havana-Cocosolo. ABE journal. [Internet]. forthcoming.

[9] INSMET. Caracterización estadística. Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. [Internet]. 2018 [consultado: 15 de agosto de 2023]. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/436>

[10] Cotilla-Rodríguez OM. Estudio retrospectivo de fuertes terremotos ocurridos en Cuba en 1914, 1932 y 1947. Google LIBROS. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Físicas. España. [Internet]. 2021 [consultado: 14 de enero de 2024]; p. 1-32. Disponible en: https://books.google.com/cu/books?id=xewUEAAQBAJ#v=onepage&pg=PA40&lpg=PA40&lp_g=sismos+ocurridos+en+cuba&sourcef=false

[11] Carrodegua N. Ciclones tropicales y huracanes que han azotado Cuba y el Caribe. [Internet]. 2023 [actualizado el 29 de agosto de 2023]. [consultado: 30 de diciembre de 2023]; p. 1-31. Disponible en: <https://norfipc.com/cuba/ciclones-tropicales-huracanes-han-azotado-cuba.php>

[12] Pincay EW, Reyes KJ, Rodríguez SM, Vasquez SM, Velez HE. Cemento material fundamental en la construcción. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. [Internet]. 2020 [consultado: 3 de enero de 2024]. p. 2-10. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/343304512_CEMENTO_MATERIAL_FUNDAMENTAL_EN_LA_CONSTRUCCION

Otro aspecto importante que se comenzó a tomar en cuenta ya desde los años 80, o aun desde antes, son los contaminantes que se desprenden en los procesos a altas temperaturas utilizados para producir importantes materiales de construcción, como cal, cemento, acero, u otros [1], Tanto Muñoz y Rojas [13], como el Programa Ambiental de las Naciones Unidas [14], indican que las edificaciones representan más del 40% del consumo energético en el mundo, y generan la emisión de diversos contaminantes, entre ellos, el 25% y el 30% de las emisiones anuales de CO₂, gas que contribuye entre un 10% y 12%, al calentamiento climático. Se estima que la producción de cada kilogramo de cemento emite entre 0,86 y 0,9 kilogramos de CO₂, la mayor parte en el proceso de calcinación de la caliza seguido por la quema de combustible para la calcinación del clínker. En el caso de Cuba, la comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados en la producción de cemento y la cal, alcanzan los siguientes valores brindados por Planos y Gutiérrez [6] (Tabla 3).

Tabla 3. Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) (kt CO2 eq), en Cuba, 1990-2016.

Materiales Emisores (GEI)	Unid / %	Años de los registros de las emisiones según 3ra Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. [6]					
		1990	2000	2010	2012	2014	2016
CEMENTO	kt CO ₂ eq	1505,4	808,9	927.1	954,0	712,9	672,0
CAL	kt CO ₂ eq	136,3	65,9	38.0	41,8	39,4	37,2
EMISIONES TOTALES	kt CO ₂ eq (100 %)	2943,5	958,4	1032.8	1093,5	844,9	776,3

Fuente: Planos y Gutiérrez [6], 2020.

Una vivienda social construida con suelo cemento puede evitar la emisión a la atmósfera entre 1,5 y 2 toneladas de gas CO₂, además de otros contaminantes. Al desprendimiento de GEI por el cemento o la cal, se le agregan los efectos negativos ocasionados a la naturaleza por la erosión del terreno en los yacimientos y las canteras.

Las crisis económicas en Cuba

Posteriormente a la primera crisis económica y energética de la década de los 90, se reiteraron de forma intermitente otras en el país, repitiéndose en 2004 y 2022, lo que evidenció la tendencia a un comportamiento cíclico de crisis reincidentes, en un país sin recursos energéticos suficientes y con una economía deprimida por diversas razones, cuyas causas no es probable que vayan a desaparecer a corto plazo. El transcurso del tiempo ha evidenciado que el denominado “Período Especial en tiempo de Paz” de los años 90 no se trataba de un único periodo de crisis, sino el primero de ellos, con el consecuente impacto en la disponibilidad de cemento. La figura 3 muestra la caída de la producción del cemento como consecuencia de las diversas crisis energéticas que tuvieron lugar en los años mencionados.



Figura 3. Producción de cemento en Cuba 1895-2021 que refleja las crisis de energía de los últimos 30 años. Fuentes: Foresight-Cuba, [15], ONEI [5]; 2021.

[13] Muñoz SP, Rojas MR. Uso de la metodología de la tierra comprimida estabilizada para la fabricación de ladrillos. Cátedra Villareal /Lima. [Internet]. 2021 [consultado: 2 de enero de 2024];9(1):82-88. Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.24039/cv202191854>

[14] OMS. Organización Mundial de la Salud. Base de datos mundial de la contaminación del aire ambiental urbano de la OMS (actualización de 2016). Climate & Clean Air Coalition. [Internet]. 2016 [consultado: 17 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.ccacoalition.org/es/resources/who-global-urban-air-pollution-database-update-2016>.

[15] Industria del Cemento. ForesightCuba. La Isla en Números. [Internet]. 2019 [actualizado: 29 de enero de 2019; consultado:15 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://foresightcuba.com/industria-del-cemento/>

La penuria energética y escasez de recursos materiales que se reeditaron de nuevo en las distintas crisis posteriores, mantenidas de forma continuada, acentuaron la reducción de la construcción de viviendas, hasta menos del 50%, según el Anuario Estadístico de Cuba [5], con el consecuente impacto social, al no satisfacer el ritmo de producción mínimo necesario.

La necesidad de adoptar medidas dirigidas a introducir materiales eficientes que requirieran menos energía para producirlos y poder aumentar el número de viviendas construidas (Figura 4) no se ha tomado en cuenta en el país, aunque mantiene aún relevante actualidad con el fin de aminorar el impacto desfavorable en las cantidades producidas durante las continuadas crisis.

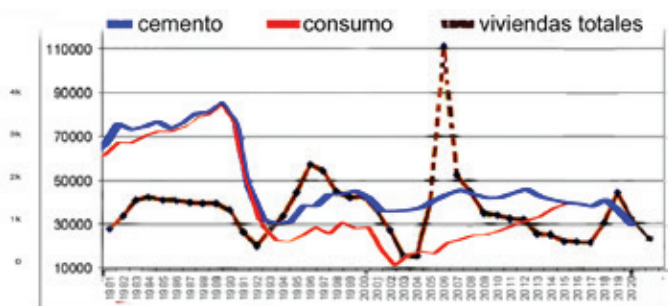


Figura 4. Impacto de la producción de cemento y de viviendas en los años de crisis 1990-2023. Fuente: Elaborado por los autores a partir de ONEI [5], 2021.

Materiales ahorradores

Además de las experiencias exploratorias de las técnicas tradicionales de construcción con tierra (barro), realizadas en los años 80, se encontraron valores satisfactorios de resistencias mecánicas utilizando en las mezclas diversos materiales económicos, estabilizados principalmente con cal-puzolana, cemento, o bitumen. Por ello, ante las reiteradas crisis energéticas, un grupo interdisciplinario de la Facultad de Arquitectura (FA) incluidos los autores del presente trabajo, y del Centro de Estudios de la Construcción y la Arquitectura Tropical (CECAT), acometió varias investigaciones tanto en Cuba como en el extranjero, sobre materiales locales de construcción que fueran ahorradores; ambientalmente aceptables; cumplieran con los valores requeridos de resistencias mecánicas; y contribuyeran a minimizar el consumo energético.

Además de las investigaciones sobre bloques prensados de suelo-cemento, se realizaron varias pruebas con mezclas de cal-puzolana y fueron desarrolladas otras [16], entre las que se encontraban:

A) Bloques elaborados con residuos de arcilla calcinada molida y suelo local, combinados con hidróxido de calcio residual de la producción industrial de Acetileno.

- [16] Alfonso A, Peterssen G. Diseñar viviendas para el reúso. *Arquitectura y Urbanismo*. Ciudad de La Habana, ISPJAE. 2000;XXI(1):7-12.
- [17] Alfonso A. Materiales de construcción con residuos industriales de vertederos ecológicamente invasivos. *Revista Científica Arquitectura y Urbanismo*. [Internet]. 2018 enero-abril [consultado: 15 de agosto de 2023];38(1):15-26. Disponible en: <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/478>
- [18] Rufino J. *Materiais de construção alternativos para construção de viviendas em Angola*. Sao Paulo: Editora Moderna; 2017.
- [19] Aquino JH, Zapata NA, Herrera M, Murillo-Borda W, Galindo G. Bloques prensados de suelo-cemento como alternativa ecológica frente a los ladrillos tradicionales de arcilla cocida. *Journal Boliviano de Ciencias*. [Internet]. 2019 [consultado: 2 de enero de 2024];15(45). Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.52428/20758944.v15i45.779>.

B) Bloques de Lodo de Papel reciclado, estabilizado con cemento Portland, como colaboración con la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), premiado en 1996 [17].

C) Bloques estabilizados de cenizas de sílice residual de origen geotérmico, premiado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT en 1997 [17],

D) Bloques estabilizados con cal hidráulica y cenizas (puzolánicas) de residuos de procesos agroindustriales de palma africana para Uige [18].

El estabilizante que aportaba mayor capacidad resistente era el cemento; los procesos de fraguado de la cal eran más lentos; y menores las cualidades resistentes que proporciona la cal mezclada con materiales puzolánicos. La cal es aplicable principalmente a suelos más plásticos, y las caleras artesanales son ya escasas y también generan altas emisiones de gases a la atmósfera (ver Tabla 3). No obstante, fueron investigadas.

Aunque parezca paradójico, para condiciones de escasa disponibilidad de combustible provocada por la crisis energética, la utilización del propio cemento Portland en proporciones racionalmente reducidas (Cmin/S), como estabilizador de suelo, podría disminuir considerablemente el consumo de combustible comparado con el requerido por las mezclas de morteros, hormigones tradicionales y materiales como ladrillos de cerámica cocida, según afirman autores como Aquino, y otros [19], lo cual ayudaría a mantener niveles aceptables de construcción de viviendas aun durante los periodos de crisis.

Por ello, se decidió profundizar en este trabajo en las investigaciones sobre el uso del cemento como estabilizador del suelo local, y posponer las relacionadas con residuos industriales, cenizas, y mezclas con cal-puzolana, así como otras opciones de diverso tipo potencialmente favorables.

Exploraciones antecedentes del suelo-cemento

El suelo-cemento (SC) surgido después de la Segunda Guerra Mundial, se utilizaba inicialmente en Estados Unidos para consolidar pavimentos. Las aplicaciones más tempranas en viviendas se reportaron, según Venkatarama [20], en 1948-49, en producciones manuales en Karnal, Haryana; y en Bangalore, India. Con el desarrollo de la prensa manual Cinva-Ram en 1952, se registraron casos de uso en los años sesenta en Colombia, Chile, Venezuela, Bolivia y Brasil y posteriormente en Zambia, Lusaka, Tailandia y Costa de Marfil, decayendo después, y en Australia en 1984. El grupo CRATERRE contribuyó con divulgación y aplicaciones en Europa y África.

Cuando se iniciaron en Cuba las primeras experiencias sobre ese material, la información era escasa y sus propiedades todavía eran poco conocidas. No obstante, su empleo se consideraba como una opción positiva por la posibilidad de disminuir el consumo proporcional de cemento Portland cuando se utilizaba como estabilizador, y por ser capaz de reducir costos de transportación al utilizar suelo del propio sitio para sustituir los áridos de las mezclas en la producción de ciertos componentes constructivos.

Por ello, en mayo de 1990 fue organizado por la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC), y los Ministerios de la Construcción (MICONS) e Industria de Materiales de la Construcción, el Primer Congreso Nacional de Uso del Cemento que incluyó un Encuentro sobre suelo-cemento (SC), en donde el Ing. José A. Rivas, director de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), afirmaba que era posible obtener con ese material componentes constructivos de calidad y lograr resistencias satisfactorias si se elaboraba con rigor [21]. En el transcurso del Encuentro se informaron varias de las acciones que se habían desarrollado a finales de la década de los años 80, entre ellas:

A) Las viviendas de SC construidas por el Ministerio del Azúcar (MINAZ), con proyectos del arquitecto Francisco Casal en San Nicolás de Bari, al sur de La Habana, citado por González [4].

B) El Manual Práctico e Informe Técnico preparado por G. Peterssen, O. Echenique y A. Alfonso, citado por Acosta [22], sobre bloques prensados de suelo-cemento (BPSC) para el barrio La Güinera, al este de la Capital.

C) La propuesta de paneles de SC contruidos por el arquitecto Roberto Carrazana;

D) Presentación de la primera prensa manual cubana diseñada por el ingeniero Rolando López para elaborar elementos constructivos con ese material (SC).

Las opiniones expresadas en el Evento consideraron favorables las potencialidades del suelo-cemento como material de construcción, principalmente para las zonas rurales, aunque los resultados de las investigaciones y experiencias realizadas hasta ese momento habían evidenciado ciertas insuficiencias, que evidenciaban la necesidad de profundizar más en las características del suelo-cemento (SC), y explorar también otros materiales ante las crisis económicas y energéticas que se auguraban para la década entrante.

Características del suelo-cemento

A partir de lo anterior, en la Facultad de Arquitectura de La Habana (FA) y el Centro de Estudios de la Construcción y la Arquitectura Tropical (CECAT), un equipo interdisciplinario que incluía a los autores del presente artículo,

[20] Venkatarama BV. Pressed Soil-Cement Block: An Alternative Building Material for Masonry. CIB TG 16, Sustainable Construction, Tampa Florida, Fraunhofer IRB. [Internet]. 1994 November 6-9 [consultado: el 15 de agosto de 2023]; p. 425-433. Disponible en: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24834.pdf.

[21] Balín G, Enríquez R. Renacimiento del suelo cemento. [CD-ROM]. Arquitectura y Urbanismo. Ciudad de La Habana: ISPJAE;1991;XII[2]:89-92.

[22] Acosta C. Durabilidad de ladrillos prensados de suelo cemento. Materiales de construcción. [Internet]. 2001 abril/mayo/junio [consultado: 15 de agosto de 2023];51(262):15-21. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/368/414>.

(en lo adelante FA-CECAT), acometió un proyecto de investigación en 1990, con apoyo de financiamiento, recursos humanos y técnicos del TropenBau⁶ (Wissenschaftsbereich Tropen-und Auslandsbau) WB TAB de la HAB⁷ Weimar, RDA [8]. El proyecto tenía el propósito de edificar una casa experimental con materiales de construcción económicos adaptados a las condiciones de Cuba. Años más tarde, entre 1995 y 1997, en colaboración con la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Mx., se investigó⁸ el uso de residuos industriales locales estabilizados para elaborar bloques para construir viviendas económicas [17], entre otras acciones.

Los resultados presentados por Peterssen [23] en 1998 acerca de las relaciones entre economía, consumo energético y producción de cemento en los distintos sistemas constructivos utilizados en esa década en Cuba, evidenciaban la necesidad de materiales de construcción que pudieran contribuir al ahorro energético y material, como una condición del desarrollo sostenible

Según Saikumar y otros [24] las buenas cualidades resistentes que ofrecen los bloques prensados de suelo-cemento (BSEC), pueden ser recomendables también para territorios con climas cálidos y húmedos, y así proporcionar considerables ahorros de energía y recursos humanos, pues según Seklar y Nayak [25] coincidiendo con Constantini y otros [26], al ser producidos con elevadas presiones por compresión mecánica se requieren menores procesos de cocción. El prensado de los bloques, afirman Ikram Ameem y otros [7], se aplica con una fuerza de compresión de alrededor de 21 MPa, que reduce el volumen original del suelo aproximadamente a un 50%, lo que depende también de algunos factores como la mezcla adecuada del suelo y el estabilizador. Una acertada composición granulométrica no es menos importante, con variaciones que propone Toirac [27] en la Tabla 4.

Las normativas de construcción con bloques de suelo-cemento vigentes en distintos países fueron examinadas por Ruiz y otros [28]. Dependiendo de las mezclas, las resistencias mecánicas pueden, según Sitton y otros [29], superar incluso las de mampuestos sismo-resistentes, lo que ha promovido el notorio incremento de su uso en muchos países.

Usar proporciones reducidas de (C/S) que disminuyan el consumo de cemento, posibilitaría un mejor aprovechamiento de los volúmenes producidos por las fábricas de alta eficiencia instaladas en el territorio cubano, mientras que, por otro lado, sustituir los áridos habituales de los bloques tradicionales de hormigón, por el suelo extraído del sitio, podría reducir los gastos de transportación.

Las proporciones de cemento (C/S) sugeridas para estabilizar el material suelo, oscilan entre 5% y 8% y

[23] Peterssen G. El desarrollo sostenible en los materiales de construcción de la vivienda en Cuba. [tesis doctoral]. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana,1998.

[24] Saikumar CH, Shyam J, Sunder R, Sairam B. STUDY ON SOIL CEMENT BLOCKS International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). [Internet]. 2019 [consultado: 2 de enero de 2024];06(11):1699-1700. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V6/i11/IRJET-V6I11164.pdf>.

[25] Seklar DC, Nayak S. Utilization of granulated blast furnaces lag and cement in the manufactured of compressed stabilized earth blocks. Construction and Building Materials, [Internet]. 2018 [consultado: 30 de diciembre de 2023];166:531-536. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.125>

[26] Constantini AB, Francisca FM, Giomi I. Hygrothermal properties of soil-cement construction materials. Construction and Building Materials, 313, [Internet]. 2021 [consultado el 30 de diciembre de 2023];313:1-11. Disponible en: [10.1016/j.conbuildmat.2021.125518](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125518)

[27] Toirac J. El suelo-cemento como material de construcción.; Ciencia y Sociedad. [Internet]. 2008 [consultado: 3 de diciembre de 2023];XXXIII(4):520-571. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=87012672003>

[28] Ruiz G. Zhang X. Fouad Edris W. Cañas I. Garijo L. A comprehensive study of mechanical properties o compressed earth blocks. Construction and Building Materials, [Internet]. 2018 [consultado: 11 de enero de 2024];176(10):566-572. Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.077>.

[29] Sitton JD, Zeinali Y, Heidarian WH, Story BA. Effect of mix design on compressed earth block strength. Construction and Building Materials. [Internet]. 2018 [consultado: 30 de diciembre de 2023];(166):531-536. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.005>

Tabla 4. Distribución granulométrica media de suelos aptos para suelo-cemento.

TAMIZ	% QUE PASA
3 pulgadas	100
No. 4	100-50
No. 40	100-15
No. 200	50-10

Fuente: Autores, a partir de J. Toirac [27], 2008.

⁶ TropenBau: "Wissenschaftsbereich Tropen-und Auslandsbau", WB TAB, departamento de la HAB Weimar dedicado al estudio científico de las construcciones tropicales.

⁷ HAB: Hochschule für Architektur und Bauwesen. (Universidad de la Arquitectura y la Construcción de Weimar, Alemania).

⁸ Con la participación de Alfonso Alfonso, y Enrique Amat Barbosa del CECAT; Gonzalo Bojórquez, María Corral, Ricardo Gallegos, Ana Ma. González Bouchart, y otros colaboradores de la Universidad Autónoma de Baja California, UABC, sede Mexicali.

hasta el 10%, a partir de cuyo valor ya no resultaría económico; aunque las proporciones dependan del tipo de suelo utilizado, de la densidad obtenida en los bloques y de otros factores, por lo que Silva y otros [30] recomiendan para tabiques internos 5% o más, y utilizar 7% o más, en muros exteriores; y entre 8% y 10% en la cimentación. No obstante, Constantini y Franco [31] sugieren rangos más amplios de proporciones C/S para muros y tabiques no portantes, cuyos valores precisan entre 3% y 9%; mientras que Saikumar y otros [24] afirman que, en la mayoría de los casos de bloques prensados, los rangos apropiados oscilan entre el 5% y 10% del peso del estabilizante con respecto al del suelo.

Datos citados por Venkatarama [20] muestran las variaciones de las resistencias a la compresión a los 21 días, (Tabla 5) en muestras con reducidas cantidades de cemento y similares densidades.

Tabla 5. Resistencia a la compresión a los 21 días según proporción de (C/S).

% de contenido de cemento en peso	2,5 %	5,0 %	7,5 %	10,0 %
Resistencia a la compresión a 21 días (MPa)	0,78	2,91	4,63	5,82

Fuente: Venkatarama BV [20], 2004.

Para Venkatarama [20] las mejores resistencias se obtienen con proporciones C/S entre 8% y 10%, incluso a los 7 días, aunque con proporciones entre 4% y 6% se pueden conseguir valores satisfactorios a los 28 días. Pero Fonseca y sus colaboradores [32], recomiendan determinar previamente la proporción óptima entre el estabilizador y el suelo (Copt/S), pues afirman que en la medida que se aparta de esa relación, mayor o menor, disminuye la resistencia. La Tabla 6 muestra valores [33] con varias dosificaciones a distintos días del curado.

Proporciones satisfactorias C/S de 5% y 8% a los 28 días fueron encontradas por los laboratorios del CECAT en testigos de bloques prensados con suelos predominantes en el territorio de La Habana, tipo “Capdevila”, descritos por García y otros [34], (Figura 5).

[30] Silva B, Santos H, Da Silva AJ, Soares AM, Martinis F, Gentil de Oliveira Y. et al. Soil cement brick production process: literature review. MOJ Civil Eng. [Internet]. 2023 [consultado: 31 de diciembre de 2023];7(1):19-26. Disponible en: <https://medcraveonline.com/MOJCE/MOJCE-07-00169.pdf>.

[31] Constantini AB, Francisca MF. Construcción con Bloques de suelo cemento como alternativa sostenible para envolvente edilicia. HS. Hábitat sustentable. Concepción. [Internet]. 2022 [consultado: 30 de diciembre de 2023];12(1):1-7. Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.08>

[32] Fonseca K, Becerra Y, Muñoz S. Uso de estabilizadores para suelos arcillosos. Una revisión literaria. Artículo de revisión científica. Suelos ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. [Internet]. 2020 [consultado: 28 de diciembre de 2023];56(1y2):54-69. Disponible en: DOI: [https://doi.org/10.47864/SE\(50\)2020p54-69_116](https://doi.org/10.47864/SE(50)2020p54-69_116)

[33] Aquino JH, Herrera M, Zapata NA, Murillo W, Galindo G. Evaluación de la resistencia a la compresión de ladrillos de suelo cemento. En: Conference: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. En: Libro de Ponencias: CBPAT 2020.ANAIS. De 15 a 17abril. Fortaleza-CE.Br. [Internet]. 2020 [consultado: 11 de enero de 2024];p.1-9. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.176>

[34] García J, Cobelo WD, Quevedo GL, García CA. Comportamiento volumétrico de un suelo de la formación Capdevila en condiciones de saturación parcial. Revista Cubana de Ingeniería. [Internet]. 2015 [consultado: 4 de enero de 2024];VI(2):5-15. Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/341>

Tabla 6. Resistencia a la compresión de ladrillos de suelo-cemento.

Días transcurridos de elaborada la muestra	Resistencia Media (MPa) en dependencia del % del contenido de cemento (C/S)				
	2%	4%	6%	8%	10%
7	2,17	3,10	3,24	4,12	4,40
14	2,42	3,45	3,71	5,98	5,36
28	2,91	4,02	5,18	6,70	7,41

Fuente: Aquino y otros [33], 2019.

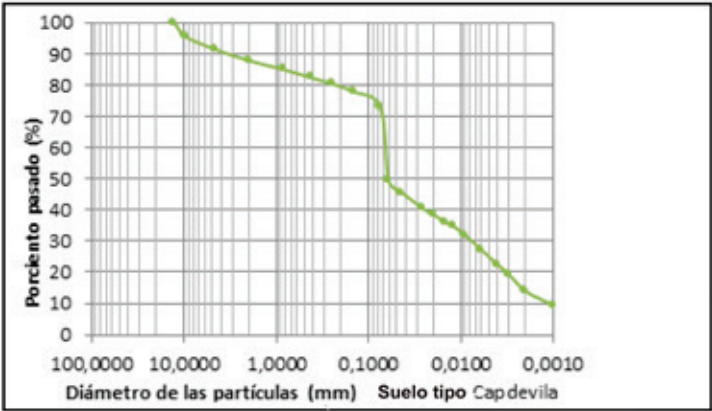


Figura 5. Granulometría del Suelo tipo Capdevila, predominante en La Habana. Fuente: García J, y otros [34], 2015.

La influencia del tipo de suelo sobre la resistencia mecánica de la mezcla se observó en los resultados obtenidos en la ciudad de Matanzas, Cuba, reportados por Acosta [22], sobre ensayos realizados a muestras con suelos tipo A-4 (1) "El Globo"; y A-7-7(13) "Toledo", estabilizados con cemento y prensadas con una máquina manual TERSTARAM. Las muestras secas del primer tipo de suelo de arcilla gravosa, arrojaron valores satisfactorios de resistencia a la compresión a los 7 y a los 28 días, con proporciones C/S de 7% y 10%, y a los 28 días con proporciones de 5%, suficientes para construir viviendas de hasta tres plantas, elementos de cubierta y entresijos, no así con el segundo tipo de suelo de arcillas muy plásticas, que alcanzó valores aceptables solo a los 28 días, con 10% de cemento útil para muros portantes y tabiques revocados, lo que corrobora que las resistencias se comportan según el tipo de suelo.

Humedad y durabilidad del suelo-cemento

La humedad y la densidad son factores determinantes en la resistencia del suelo-cemento (SC). Las muestras de laboratorio de los testigos con frecuencia se testan con humedades alrededor del 15% [22, 31], lo que para Muñoz y Rojas [13], es una humedad propia para mezclas con proporciones (C/S) del 6% de cemento. Lima y Escobar [35] han expresado la opinión de que los ensayos a compresión deben realizarse tanto a testigos secos como húmedos, y que los húmedos siempre se testen próximos a la humedad de saturación. Al respecto, Muñoz y Rojas [13] e Shariful Islam y otros [36], consideraron que la resistencia aceptable a la compresión no debe ser menor que 1,4 MPa en estado seco, y 0,7 MPa en estado húmedo. Lima y Escobar [35] encontraron las resistencias obtenidas a los 15 días con humedades próximas o iguales al 15%. Estos autores también graficaron los valores de resistencias a la compresión obtenidas con diferentes dosificaciones de mezclas de SC según variadas humedades de las muestras (Figura 6).

- [35] Lima JI, Escobar D. Influencia de la humedad en el ensayo de resistencia de los ladrillos de suelo-cemento. Informes de la Construcción. revistas.csic.es. [Internet]. 1994 enero-febrero [consultado: 3 de diciembre de 2023];45(429):85-89. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- [36] Shariful Islam M, Elani TE, Rafat Shahriar A, Nahar K, Reza Hossain T. Strength and Durability Characteristics of Cement and Stabilized earth blocks. ASCE,15. Journal of Materials in Civil Engineer. [Internet]. 2020 [consultado: 4 de enero de 2024];32(5). Disponible en: DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003176](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003176)
- [37] Amat E, Alfonso A. Impermeabilidad y durabilidad en los muros de suelo cemento. Revista Arquitectura y Urbanismo. La Habana, ISPJAE:1994;XV(2-3):71-76.

El agua en la masa del material, es un factor que influye negativamente, tanto en las propiedades de resistencia mecánica, como en la durabilidad de los BSEC; y Constantini y Francisca [25] agregan que valores superiores al 20% de humedad pueden también generar incrementos significativos de la conductividad térmica, lo que hace recomendable reducirla.

Con el objetivo de encontrar soluciones capaces de reducir la humedad en los BPSC, Amat y Alfonso [37], del Grupo FA-CECAT, encontraron en 1992, en pruebas de laboratorio realizadas, lo ventajoso de impregnar la mezcla de suelo-cemento con soluciones acuosas de hipoclorito de sodio al 2%, o simplemente con agua jabonosa. En ambos casos, la solución reacciona con el hidróxido de calcio que desprende el cemento Portland en el interior de la mezcla, para formar compuestos insolubles de calcio que rellenan y obstruyen los poros, reduciendo así la capilaridad, y aumentando la densidad, lo cual mejora la resistencia del material a los esfuerzos de compresión y su durabilidad. En el segundo caso, del agua jabonosa, encontraron que el estearato de calcio producido en el interior de la masa de SC le incorpora adicionalmente al material propiedades hidrófugas y repelentes del agua. Otra solución, comentada por Muñoz y Rojas [11] como una posibilidad efectiva, es el uso de bacterias, las cuales llenan los poros con calcita e impiden la entrada de agua a la muestra, lo que aumenta la resistencia a la compresión y reduce la permeabilidad al agua. Ellos han reportado que al aplicar la llamada "calcita bacteriana" se han registrado resistencias a la compresión de 6,36 N/mm² y que la adición del 5% de esta bacteria mejora la resistencia a la compresión un 15,25% y reduce la absorción de agua 15,66% a los 28 días. También se ha afirmado que, además del silicato de sodio, el ácido fosfórico y el ácido fluorhídrico pueden mejorar la actividad puzolánica en los casos de suelos salinos, pero todo dependerá de las posibilidades reales de los recursos disponibles, pues las crisis no solo conllevan carencias de energía.

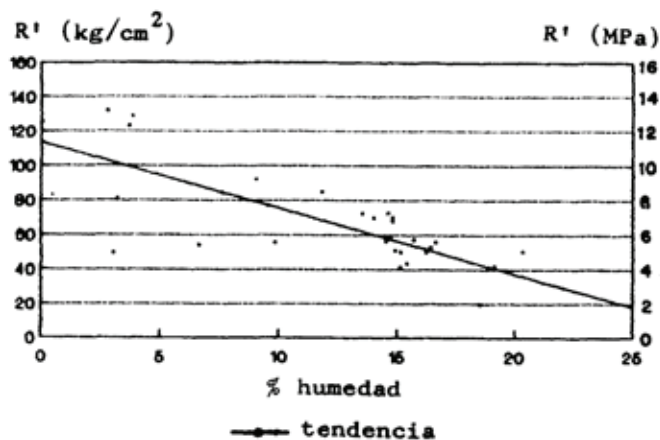


Figura 6. Relación humedad VS resistencia del suelo-cemento. Fuente: Lima JI y Escobar D. [35], 1994.

Cualidades termo-físicas del suelo-cemento

Si bien las propiedades mecánicas de los bloques pueden expresarse por el índice de resistencia a la compresión, las propiedades térmicas pueden hacerlo, según Chen [38], por el índice de conductividad térmica. En las propiedades termo-físicas del material estabilizado con cemento Portland (BSEC) en opinión de Mozeiko y Francisca [39], los procesos de transferencia de calor se producen principalmente por conducción, e intervienen en la conductividad térmica del suelo utilizado y el contenido de humedad, a lo que Constantini y otros [26], incluyen el tamaño y contacto entre sus partículas, su mineralogía y porosidad, mientras que Revuelta y otros [40] adicionan la magnitud de la presión aplicada. Ouedraogo y sus colaboradores [41] también han considerado a la conductividad térmica, como el parámetro de mayor relevancia, la cual disminuye con el incremento de la porosidad; mientras que Balji y Mani [42] advierten que el aumento de la densidad promueve el intercambio por radiación y convección. Los valores de transmitancia térmica de muros de suelo-cemento encontrados por Constantini y Francisca [26] bajo condiciones reales oscilan entre 1219 y 1599 W/m²K.

La obra experimental

En el CECAT, en 1989-90, después de completar los ensayos de laboratorio, fue elaborado por el Grupo FA-CECAT, el proyecto arquitectónico y ejecutivo de un edificio experimental con bloques prensados de suelo cemento, de dos pisos y cuatro apartamentos, localizado en Cocosolo, un barrio pobre de los suburbios de Marianao, en La Habana (Figura 7). El propósito fue evidenciar y mostrar con su construcción, las posibilidades ventajosas del material en edificaciones de más de un piso, atendiendo a requerimientos de elevar la densidad urbana, por lo que en el proyecto se previó adicionarle posteriormente otra unidad mayor de tres plantas al fondo, con doce apartamentos. También se buscaba ajustar los procesos constructivos, y corroborar el comportamiento del inmueble en condiciones de uso real a lo largo del transcurso del tiempo.

Fueron utilizados bloques sólidos de 29 cm x 14 cm x 9 cm, conformados con una prensa manual CINVA-RAM estándar, utilizando suelo tipo Capdevila extraído en la misma localidad, [arcilla arenosa predominante en la mayor parte del territorio de La Habana], descrita por J. García Tristá y otros [34], estabilizado con cemento Portland estándar con proporciones C/S, según el proyecto, de 5% en muros; y de 10% para las aristas de los bordes de vanos de ventanas y puertas, así como para las cimentaciones e hiladas inferiores expuestas a salpicaduras. Una proporción C/S similar de 8% se utilizó en el mortero de asiento de las juntas para colocar los

[38] Chen R. Mechanical and Thermal Behaviors of Cement Stabilized Compressed earth bricks. earth and environmental science,9. [Internet]. 2020 [consultado: 30 de diciembre de 2023];474(6):1-6. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/474/7/072090/pdf>

[39] Mozeiko CA, Francisca FM. Enhanced mechanical behavior of compressed clayey silts stabilized by reusing steels lag. Earth and environmental science. Construction and Building Materials. [Internet]. 2020 [consultado: 30 de diciembre de 2023];239:1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117901>

[40] Revuelta D, García-Calvo JL, Carballosa P, Pedrosa F. Evaluation of influence of the degree of saturation, measuring time and use of a conductive paste on determination of thermal conductivity of normal and lightweight concrete using the hot-wire method. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC. [Internet]. 2021 [consultado: 28 de diciembre de 2023];71(344):260. Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.3989/mc.2021.03621>

[41] Ouedraogo KAJ, Aubert JE, Tribout C, Escadeillas G. Is stabilization of earth blocks using low cement or lime contents relevant? Construction and Building Materials. [Internet]; 2020 [consultado: 30 de diciembre de 2023];236:1-19. Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117578>

[42] Balaji NC, Mani M. Error Analysis on Thermal Conductivity Measurements of Cement-Stabilized Soil Blocks. Earthen Dwellings and Structures. Singapore. Springer. [Internet]; 2019 [consultado: 2 de enero de 2024]. p. 333-343. Disponible en: DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-5883-8_29



Figura 7. Plantas del edificio experimental con bloques prensados de suelo-cemento ejecutados en Cocosolo, Marianao, La Habana. Proyecto arquitectónico de Alfonso Alfonso y Gabriela Peterssen, con apoyo del CECAT y el Tropenbau. Fuente: Archivo de los autores, 1990.

bloques. Los BPSC, impregnados con una solución de hipoclorito de sodio al 2%, se sometían a un curado húmedo constante durante 30 días.

El inmueble experimental inició su construcción (Figura 8) por una microbrigada social local con apoyo del departamento TropenBau (WBT) de la HAB Weimar, que colaboró con financiamiento, asistencia técnica, y la participación directa de varios colaboradores alemanes jóvenes, acompañados por Horst Schroeder, profesor especialista en el tema, quienes en 1990 permanecieron casi dos meses laborando directamente en el lugar. Al retirarse los colaboradores alemanes, se ralentizó y detuvo la obra, debido a la participación intermitente de los constructores (micro-brigadistas), hasta que, en 1993, fue concluida la estructura de la segunda planta que había sido interrumpida, habiéndose sustituido espontáneamente las tejas TEVI previstas en el proyecto original, por tejas onduladas, y modificados parcialmente en ciertas áreas los tipos de revocos que se habían indicado inicialmente en el proyecto.



Figura 8. Prototipo experimental de dos plantas en fase de construcción con bloques prensados de suelo-cemento. FA- CECAT-WBT. Cocosolo. Fuente: Autores 1990.

Estudios valorativos recientes

Después de 30 años de construido, se pudo verificar la solidez del inmueble (Figura 9), que resistió sin ninguna dificultad el embate de los huracanes, tormentas e inundaciones que azotaron la ciudad en ese periodo, particularmente el ciclón Charlie, que en 2004 azotó directamente la zona con vientos de 185 km/h; y el huracán Denis, que en 2005 pasó muy próximo, con ráfagas de viento de 250 km/h, ocasionando ambos eventos gran destrucción y miles de derrumbes en la ciudad [6, 5].

Se realizaron entrevistas a los residentes que desde 1994 habitaban el edificio, con la participación personal de Juliane Richter, docente e investigadora de FA/Bauhaus-Universität Weimar, cuyos resultados corroboraron los criterios satisfactorios de los usuarios sobre la obra construida (Figura 9). El espacio libre previsto para ubicar un prototipo de tres plantas al fondo, no llegó a ejecutarse, y con posterioridad fue ocupado parcialmente por algunos agregos ilegales.



Figura 9. Vista de un detalle del edificio experimental de bloques prensados de suelo-cemento en Cocosolo. Fuente: Foto de los autores, 2024.

No obstante, en los muros que no disponían de aleros de protección a la lluvia, se observó cierta presencia de costras biogénicas o pátinas, es decir, bioalteraciones cromáticas derivadas de la retención de humedad en las superficies expuestas al derrame de agua pluvial sobre las superficies exteriores no protegidas. Lo anterior indujo a recomendar el uso de aleros y a que cuando se produjeran los BPSC, se aplicaran aditivos antihumedad, tales como soluciones hidrófobas, hidrorepelentes u otros aditivos mencionados con anterioridad, para sellar, rellenar y proteger los poros del material con el fin de reducir la absorción de agua, y adicionalmente, aumentar la densidad de los bloques. Otro aspecto observado en algunas partes de las superficies exteriores del inmueble, fue la falta de adherencia parcial y fragmentos del desprendimiento en algunas partes del revoco exterior aplicado por los ocupantes el edificio, sin la composición y dosificación originalmente indicadas en el proyecto, ni el debido control técnico cuando fue colocado.

Discusión

Con posterioridad a las exploraciones que se realizaron al suelo-cemento en la década de los años ochenta, aun cuando todavía ese material era relativamente nuevo, muy poco conocido en Cuba, y con escasa información disponible sobre sus propiedades y características, fueron elaboradas institucionalmente, instrucciones técnicas específicas para bloques sólidos de suelo-cemento [4] en las cuales se le transfirió al SC el cumplimiento de algunos de los requisitos propios para el hormigón, y se establecieron plazos para el cumplimiento de determinados valores de resistencia a la compresión, cuando realmente, tal como ha sido demostrado con posterioridad por la literatura técnica, el proceso de endurecimiento físico de estos materiales se comporta de forma esencialmente diferente al de las mezclas “tradicionales”. Al respecto, Gonzalo Ruiz y otros [28], han examinado las propiedades mecánicas a cumplir por los BPSC, según establecen diversas normativas internacionales.

A inicios de los años 90, el Ministerio de la Construcción (MICONS) seleccionó un proyecto de vivienda premiado en 1989 por su calidad arquitectónica, de la autoría de Dania González [4], y se le adaptó el sistema constructivo para construir en Matanzas la primera vivienda experimental con el sistema de “Bloques Machihembrados de Suelo-cemento”, cuyos elementos fueron conformados por una prensa CIMVA RAM modificada.

Al no lograr obtenerse la resistencia a la compresión exigida por las Instrucciones Técnicas IT-07-91: CODASE, se recurrió a utilizar muros de citarón, y no de citara, para aumentar la capacidad resistente, lo que incrementó desfavorablemente el consumo de materiales y el costo total de los cierres macizos, reduciendo así las ventajas económicas esperadas, con independencia de la alta calidad del proyecto arquitectónico original utilizado.

Es conocido que la resistencia a la compresión de los muros de bloques machihembrados simplemente ensamblados, es mucho menor que la de los bloques planos simples asentados con mortero, debido a las inexactitudes que genera el sistema de ensamblaje en el acople entre las superficies de contacto machihembradas, lo que adicionalmente, se refleja también en el coeficiente de esbeltez del muro, pues lo predispone al pandeo lateral, y limita el crecimiento vertical de la obra. La necesidad de obtener una geometría uniforme en los bloques limita la uniformidad de la compresión

que se le aplica a cada uno de ellos. La deformación por la pérdida de humedad que ocurre durante el proceso de curado modifica la exactitud geométrica de los elementos y afecta el acople entre ellos. La resistencia a la compresión del muro también es mucho menor que la resistencia de cada uno de los bloques machihembrados individuales.

Aunque el sistema constructivo fue aplicado en varias localidades cubanas y comercializado por CARICOM en 1994 con el perfil de EASY BLOCK y bajo la marca SICO BLOM del MINAZ, sus resultados económicamente poco satisfactorios en comparación con otras ofertas, no contribuyeron a la posterior generalización comercial del suelo cemento, pues supuestamente no favorecía el ahorro de energía. Esto, sumado al señalamiento de deterioro precoz que evidenció y algunas otras inconveniencias adicionales relacionadas con el ajuste de los ensambles, o simplemente atribuidas a las características del material, –pero de posible solución–, condujeron posteriormente a interrumpir y descartar su uso, y a que, en lo sucesivo, fuera omitido por la política de construcción de vivienda de Cuba, a pesar de sus notables ventajas, reconocidas aun en fechas recientes por numerosos especialistas, entre ellos, Muñoz y Rojas [13]; Aquino y otros [19]; Berlingieri [43], y otros muchos.

Si la aplicación de un material produce malos resultados, no significa necesariamente que ese material sea malo, sino que pudo haber sido mal aplicado, que fue lo que realmente ocurrió. Era una posibilidad positiva en esa época que no fue bien aprovechada, sino prematuramente desechada, abandonada, sin haber investigado ese material a profundidad. La posibilidad adicional de obtener del propio sitio el agregado (suelo); y que los bloques puedan elaborarse con fuerza de trabajo local, sin necesidad de incurrir en gastos de transportación, es otra de sus ventajas.

Un corte de los datos del censo proporcionados por Juan de las Cuevas [2], muestran (Tabla 7) la gradual reducción de la cantidad de bloques de hormigón tradicional elaborados anualmente durante 8 años del Período Especial (1989-95), coincidente con un efímero período de confección incipiente de bloques prensados lisos de suelo-cemento, los cuales desaparecieron después del breve lapso entre 1991 y 1994, mientras que en el año 1992 dio inicio la producción de bloques prensados machihembrados de SC, que se mantuvo por varios años, aunque no aportaran el ahorro energético esperado.

Tabla 7. Impacto de la producción de distintos tipos de bloques durante la crisis del Período Especial.

Componentes producidos /año	UM	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Bloques de hormigón	Mmu	103,1	98,2	59,6	33,0	27,2	31,5	34,2	44,0
Bloques machihembrados	Mu	—	—	—	279,2	448,5	978,3	824,2	894,3
Bloques de suelo-cemento	Mu	—	152,6	475,7	114,3	149,1	176,4	—	—

Fuente: J. De Las Cuevas [2] 2001.

[43] Berlingieri RR. Caracterización de bloques de suelo cemento como mampuesto. [tesis]. Universidad Nacional de Córdoba. [Internet]; 2017 [consultado: 11 de enero de 2024]. 53 p. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/5485/RRB1-6pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Entre los aspectos que contribuyeron al abandono y desaparición de los BPSC también estuvo la percepción desacertada de que la crisis energética de los años 90 era única, singular, y pronto quedaría atrás, cuando en realidad se trataba de un primer evento que se replicaba posteriormente por otros de mayor severidad que le siguieron. A ello se agrega cierto rechazo cultural al material por parte de los albañiles, técnicos y decisores, quienes lo suponían poco resistente y duradero, además de vincular erróneamente su imagen a condiciones de pobreza e inferioridad social. Sin embargo, las numerosas fuentes consultadas y los resultados obtenidos en las investigaciones de FA-CECAT, ratifican las excelentes propiedades resistentes, de durabilidad y calidad visual de los BPSC como material alternativo ventajoso, cuyo aporte a la reducción del consumo energético podría atenuar el impacto de las reiteradas crisis energéticas en la producción de viviendas en el país, las cuales no se prevé que cambien o desaparezcan en plazos razonablemente próximos.

El impacto de la carencia de combustible ocasionado por las continuadas crisis ha repercutido en la cantidad de viviendas producidas en años anteriores, lo que se ha refleja en la Tabla 8.

Tabla 8. Caída de la producción de viviendas en Cuba en los primeros 5 años de cada crisis.

1988-1992		2000-2004		2019-2023	
Año	Viviendas producidas	Año	Viviendas producidas	Año	Viviendas producidas
1988	39 400	2000	42 900	2019	44 500
1989	39 600	2001	35 900	2020	32 800
1990	36 300	2002	27 400	2021	18 600
1991	26 200	2003	15 500	2022	21 200
1992	20 000	2004	15 300	2023	¿?

Fuente: Elaborado por los autores, a partir de datos de ONEI [5], 2022.

La actual Política de la Vivienda en Cuba [44], en 2023, aunque no indica las estadísticas de lo construido durante los años de escasez energética, estimó una demanda total de 929 695 viviendas, de las cuales, 527 575 deberían ser de nueva construcción, en un período extendido hasta 10 años, lo que precisa mantener un ritmo de crecimiento anual de aproximadamente 52 300 viviendas nuevas. Atendiendo a que las tecnologías constructivas existentes (sistemas Gran Panel, Sandino y FORSA); pueden aportar 11 mil 400 unidades anuales, el documento declara la necesidad de rehabilitar el panel industrial con un financiamiento de \$36 933 000 (USD) (calculados supuestamente sobre la base de precios del año 2022, aunque no se indican fechas) y destinar \$51 376 000 (USD) para la ampliación de las capacidades existentes. Se estima una demanda adicional de 14 329 000 toneladas de cemento, que se distribuirían según cantidades ascendentes desde 936 toneladas en el primer año hasta 1 656 toneladas en el décimo, para lo que se requiere una inversión total en la industria de \$US 744 100 [44]. El costo del petróleo para producir cemento ha oscilado en los últimos años alrededor de 60 €/t con tendencia a incrementarse [45].

Se indica que el 60% de las viviendas deben ser asumidas por la población, con sistemas constructivos que incluyan bloques de hormigón, mampuesto, madera con diferentes alternativas (tabla de palma, madera aserrada y yagua, entre otras), además de ladrillos de arcilla cocida, grandes

[44] MICONS Ministerio de la Construcción de la República de Cuba, Política de la vivienda en Cuba. [Internet]. 2023 [consultado: 4 de enero de 2024] 47 p. Disponible en: https://oncubanews-com.webpkgcache.com/doc/-/s/oncubanews-com/wp-content/uploads/2023/03/Micons_-Politica-de-la-Vivienda-1.pdf

[45] Armenta G. El consumo de cemento y su evolución a nivel mundial. Gloval Building Value. [Internet]. 2022 [consultado: 16 de diciembre de 2023]. p. 1-7. Disponible en: <https://www.gloval.es/consumo-cemento/>

consumidores de energía, comparado con los bloques de suelo cemento según Aquino y otros [19] (TABLA 9).

Tabla 9. Consumo de energía por elementos y muros de ladrillos de arcilla cocida y bloques de SC.

	Tipo de elemento	Dimensiones de los elementos (mm)	Energía por cada uno de los elementos (MJ)	Consumo de energía por m² de elementos en muro (MJ)
1	Ladrillo de arcilla cocida	230 x 108 x 75	3,8 – 4,5	2228
2	Bloque de Suelo-cemento (5% de cemento)	230 x 190 x 100	2,34	536
3	Bloque de Suelo-cemento (7% de cemento)	230 x 190 x 100	3,28	750

Fuente: Aquino y otros [19] 2019.

Sin embargo, no se incluye al suelo cemento (BPSC) u otros materiales ahorradores que, además de contribuir a reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y el agotamiento de naturaleza, puedan disminuir el gasto energético con el fin de aumentar de manera sostenible la producción de viviendas necesarias, sin resignarse a fabricar menos como consecuencia de las crisis. En esa dirección, actualmente diversos investigadores en el país avanzan en la búsqueda de otras opciones potenciales de materiales de construcción alternativos, entre las que se encuentran, por ejemplo, las propuestas de Matamoros y otros [46] para el uso del bambú en la construcción en Cuba. (Figura 10).



[46] Matamoros Tuma MR, Álvarez López AE, Rojas Rojas MP, Pérez Ríos B, Fonseca Salgado JP. Villa turística de bambú ¿Una alternativa para el desarrollo hotelero en Cuba? AU [Internet]. 4 de abril de 2019 [consultado: 10 de diciembre de 2023];40(1):72-87. Disponible en: <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/519>.

Figura 10: Propuesta del uso de la guadua (bambú) como material de construcción de obras arquitectónicas en Cuba, en este caso aplicado al diseño de una villa turística. Fuente: Matamoros, Álvarez, Rojas, Pérez y Fonseca, [46] 2019.

Los problemas ambientales, energéticos y económicos de la producción de cemento y materiales de construcción de viviendas ya habían sido estudiados científicamente desde el punto de vista del desarrollo sostenible y expuestos por los autores desde 1998 [23].

Conclusiones

A la necesidad de utilizar materiales de construcción adecuados a las condiciones climáticas del país, que además cooperaran con la preservación de naturaleza y redujeran las emisiones de gases perjudiciales al medio ambiente, se unió la de economizar y contribuir a atenuar el impacto negativo en la producción de viviendas, ocasionado por las reiteradas crisis económicas y energéticas. Entre los materiales con esa posibilidad, se encontraban los bloques prensados de suelo cemento, que por requerir reducidas cantidades del estabilizador podrían, paradójicamente, repercutir en un considerable ahorro de cemento y consecuentemente, de combustible, con el fin de mantener los ritmos de construcción.

Tal como se pudo verificar desde los años noventa por los resultados de investigaciones de la Facultad de Arquitectura de La Habana y el CECAT, con los que han coincidido numerosas publicaciones científicas posteriores, los bloques prensados de suelo cemento poseen propiedades resistentes satisfactorias, buenas cualidades físicas, y facilidad de elaboración a escala local, además de ser económicos y reducir significativamente el consumo energético. No obstante, algunas experiencias desacertadas que arrojaron resultados deficientes y la influencia de cierta cultura peyorativa subyacente en el país acerca de ese material, motivaron que su implementación productiva se discontinuara y fueran excluidos de los planes constructivos.

La actual Política Nacional de Vivienda ha continuado apostando a materiales altos consumidores de energía, que dependen de aumentar la producción de cemento, a pesar de sus efectos ambientalmente nocivos, y que requieren de combustible para producirlos, deficitario en el país como consecuencia de las reiteradas y cada vez más intensas crisis energéticas, que no permiten cumplir los planes de construcción de las viviendas que se necesitan. Tal política precisa ser reconsiderada para incluir materiales económicos; sostenibles; ahorradores de energía, y resistentes, como los bloques prensados de suelo cemento, u otros con propiedades similares.

Agradecimientos

A Juliane Richter, por inspirar el interés por el tema y apoyarlo; a Horst Schroeder, por su contribución al prototipo; a Martina Schulle y los otros jóvenes alemanes, por su apoyo solidario.



Alfonso Alfonso-González
Arquitecto, Dr. en Ciencias Técnicas,
Profesor Titular y Consultante. Colegio
Universitario San Gerónimo de La Habana,
Universidad de La Habana, Cuba.
E-mail: alfonsoalfonsog@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5820-8352>



Gabriela Peterssen-Soffia
Arquitecta, Doctora en Ciencias Técnicas,
Profesora Asociada. Facultad de
Arquitectura y Medioambiente. Universidad
Autónoma de Chile. Santiago. Chile.
E-mail: gabriela.peterssen@uautonoma.cl
<https://orcid.org/0000-0002-3102-107X>

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Las autoras declaran que no existen conflictos de intereses que pudieran representar un riesgo para la publicación del artículo.

DECLARACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Alfonso Alfonso González:
Conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, revisión bibliográfica, administración del proyecto, recursos, redacción, revisión, edición del manuscrito.

Gabriela Peterssen Soffia:
Conceptualización, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, revisión, edición del manuscrito.



[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)