



30 años de investigaciones sobre concreto con caucho (1990-2020). Un análisis bibliométrico

Z. Zarhri^{1*} , W. Rosado Martínez² , J. Dominguez Lepe² , R. E. Vega-Azamar² , M. Chan Juárez² , B. Pamplona Solis² 

*Autor de Contacto: z.zarhri@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.554>

Recepción: 31/08/2021 | Aceptación: 09/12/2021 | Publicación: 01/01/2022

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio bibliométrico de la literatura sobre el uso del caucho reciclado de las llantas en la industria de la construcción para promover el interés de utilizarlo como materia prima para reducir la contaminación a nivel global. Se consideraron los trabajos publicados en el período 1990-2020, tanto en las bases de datos de Scopus como de Web of Science (WoS), se utilizó el Methodi Ordinatio y el software VOSviewer para llevar a cabo el análisis. En este período de tiempo, se ha publicado un total de 967 documentos sobre el uso del caucho en concretos estructurales y no estructurales con la contribución 1182 autores en el tema. Desde 2010, ha aumentado notablemente el interés de los investigadores por introducir el caucho reciclado en aplicaciones constructivas. China, Estados Unidos y Australia son los países líderes en la investigación del concreto con caucho reciclado proveniente de los neumáticos.

Palabras clave: concreto con caucho reciclado; construcción; polvo de neumático; análisis bibliométrico; *Methodi Ordinatio*.

Citar como: Zarhri, Z., Rosado Martínez, W., Dominguez Lepe, J., Vega Azamar, R. E., Chan Juárez, M., Pamplona Solis, B. (2022), “30 años de investigaciones sobre concreto con caucho (1990-2020). Un análisis bibliométrico”, Revista ALCONPAT, 12 (1), pp. 127 – 142, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.554>

¹ CONACYT-Tecnológico Nacional de México/I.T. Chetumal; Insurgentes 330, C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, Mexico

² Tecnológico Nacional de México/I.T. Chetumal; Insurgentes 330, C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, Mexico.

Contribución de cada autor

En este trabajo, William Rosado Martínez realizó los estudios bibliométricos y contribuyó a la discusión y redacción del manuscrito (30%). Zakaryaa Zarhri supervisó todo el trabajo y escribió el documento en inglés (30%). José Antonio Domínguez Lepe (10%), Ricardo Enrique Vega Azamar (10%) y Maritza Chan Juárez (10%) contribuyeron a la discusión de los resultados y la corrección del manuscrito. Blandy Berenice Pamplona Solis contribuye a la metodología y resultados del documento (10%).

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2022) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2022 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2022.

30 years of rubberized concrete investigations (1990-2020). A bibliometric analysis

ABSTRACT

This work presents a bibliometric study of the literature on the use of recycled rubber from tires in the construction industry to promote its use as a 'raw' material to reduce pollution at a global level. Published papers between 1990 and 2020 in both databases Scopus and Web of Science (WoS) were taken into account using the Methodi Ordinatio and the VOSviewer software. A total of 967 documents on the use of recycled rubber in structural and non-structural concrete have been published during this time frame and 1182 authors have contributed on the subject. Since 2010, the interest of researchers to introduce recycled rubber in construction applications has increased markedly. China, the United States of America and Australia are the leading countries in rubberized concrete research.

Keywords: rubberized concrete; construction; crumb rubber; bibliometric analysis; *Methodi Ordinatio*.

30 anos de investigações sobre concreto com adição de borracha (1990-2020). Uma análise bibliométrica

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo bibliométrico da literatura sobre o uso de borracha reciclada de pneus na indústria da construção para promover seu uso como matéria-prima para reduzir a poluição em nível global. Artigos publicados entre 1990 e 2020 em ambas as bases de dados Scopus e Web of Science (WoS) foram levados em consideração usando o Methodi Ordinatio e o software VOSviewer. Nesse período, foram publicados 967 documentos sobre o uso de borracha reciclada em concreto estrutural e não estrutural e 1182 autores contribuíram com o assunto. Desde 2010, o interesse dos pesquisadores em introduzir borracha reciclada em aplicações de construção aumentou significativamente. China, Estados Unidos da América e Austrália são os países líderes na pesquisa de concreto com adição de borracha.

Palavras-chave: concreto com adição de borracha; construção; borracha fragmentada; análise bibliométrica; *Methodi Ordinatio*.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado y eliminación de los residuos sólidos es una de las actividades que más afecta al medio ambiente. De acuerdo con el Banco Mundial, en su informe de 2018 “*What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*” se espera un aumento en la generación de desechos de hasta un 70% para 2050, de 2.01 mil millones de toneladas de desechos en 2016, se proyecta un total de 3.4 mil millones de toneladas de desechos anuales para el año 2050 (What a Waste 2.0, 2019).

Especialmente, cuando provienen del caucho y los neumáticos de desecho, debido a su naturaleza y potencial contaminante, este tipo de desechos deben ser procesados y enterrados en rellenos sanitarios para su disposición final. Sin embargo, esto puede provocar la contaminación del suelo y subsuelo. Por ello, es importante encontrar formas de reutilizar total o parcialmente este residuo para transformar su potencial contaminante al final de su vida útil en una materia prima viable para la industria. Los neumáticos de desecho son uno de los materiales más contaminantes, debido a que el proceso de vulcanización es irreversible, lo que dificulta la creación de un plan de residuos. Para el tratamiento apropiado de este tipo de residuo, la industria cuenta con instalaciones especiales de reciclaje de las que se pueden obtener subproductos como fibras de reciclaje de llantas, caucho granulado, caucho en forma de chips, caucho en polvo, así como fibras de acero (Thomas et al., 2016).

Una de las soluciones posibles es utilizar el caucho como materia prima (Pérez, 2015). En la actualidad, la comunidad científica ha reconocido el problema que esto representa, por lo que se han analizado y propuesto diferentes alternativas para el uso del caucho tanto de la industria de residuos como del reciclaje, así como su aplicación en algunas áreas de la ingeniería. Esto conlleva desarrollo económico, creación de empleos, así como el cumplimiento del objetivo primordial: la reducción de contaminantes en el medio ambiente (Al-Salem et al., 2009; Ghosh, 2019; Ruwona et al., 2019; Yang et al., 2018).

Este análisis bibliométrico está basado en la búsqueda de los artículos más relevantes sobre el tema, así como en un análisis en profundidad de la literatura seleccionada, con el objetivo de recolectar datos sobre la importancia del estudio del caucho para la comunidad científica.

Este artículo tiene como objetivo realizar un análisis cuantitativo de cómo ha evolucionado el campo de estudio de la utilización del caucho en concretos, durante el período contemplado entre 1990-2020, con el propósito de recolectar los artículos de investigación más importantes para su análisis mediante el método bibliométrico *Methodi Ordinatio* (Pagani et al., 2015b), con el fin de obtener los artículos más relevantes tomando en consideración el número de citas, el año de publicación, así como el factor de impacto de la revista en la que se publicó (de Campos et al., 2018). Este artículo está dirigido a investigadores y profesionales del tema que requieran un análisis extenso de la literatura existente para trabajos futuros.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la realización de este trabajo, las bases de datos *Scopus* y *Web of Science* (WoS) fueron consideradas por ser de mayor relevancia (principalmente la de Scopus) en el desarrollo del análisis bibliométrico para la investigación de la literatura, contemplando un período de búsqueda entre enero de 1990 y noviembre de 2020. Una vez seleccionadas estas variables, se realizó una búsqueda exploratoria en las bases de datos utilizando la palabra clave “*Rubberized concrete*” como punto de partida. Se encontraron un total de 610 artículos en la base de datos Scopus y un total de 357 artículos en la Web of Science. A partir de los resultados, se seleccionaron las principales palabras clave.

ecuación considera el total de citas, el factor de impacto y el factor de ponderación proporcionado por el investigador, que se encuentra en un rango de 1 a 10.

$$InOrdinatio = \left(\frac{IF}{1000}\right) + \alpha (\text{research year} - \text{publication year}) + \sum Ci$$

donde,

IF = Factor de impacto (JCR, CiteScore, SJR or SNIP)

α = Coeficiente (1 al 10) que evalúa la importancia del año en que fue publicado el artículo

Research year = Año en la cual se está llevando a cabo la investigación

$\sum Ci$ = Número total de citas del artículo

Con el fin de considerar no solo las publicaciones gran trayectoria, se eligió un valor de alfa igual a siete (Pamplona Solis et al., 2019). Un valor alfa cercano a uno ($\alpha = 1$) genera portafolios con artículos clásicos, pero si los artículos recientes son más importantes para la investigación, entonces el valor de alfa debería estar más cerca de 10.

- Fase 8: Búsqueda de artículos: Una vez obtenido el ranking de artículos mediante el método *InOrdinatio*, su versión a texto completo fue obtenida a través de software de gestión de referencias como Mendeley, Citavi o Zotero.
- Fase 9. Lectura final y análisis sistemático de los artículos: La revisión sistemática puede resultar un trabajo extenso y laborioso; el *Methodi Ordinatio* ayuda a crear una lista ordenada de todos los artículos relevantes para facilitar el análisis del investigador.

VOSviewer es un Software que está diseñado para complementar este tipo de metodologías. La información que puede generar es la frecuencia de ocurrencia de una palabra clave que se muestra en función del tamaño de los círculos en los mapas. Los más pequeños representan palabras clave que no son tan relevantes, mientras los mediano (y más grandes) representan las palabras clave relevantes en los diferentes artículos publicados. Por ejemplo, la palabra "caucho" es más relevante por razones obvias. Sin embargo, en algunos artículos con esta palabra clave podemos encontrar temas de interés como el pretratamiento del material o la interfaz caucho-cemento. En comparación con las "fibras de acero", que son las fibras de acero extraídas de los neumáticos usados, hay poco interés de los investigadores en el tema debido a la escasa presencia de esta palabra clave. Esto deja en claro que este diagrama es útil para darnos una visión general de los temas que se han estudiado y no reflejan ningún resultado final, es un procedimiento previo al filtrado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de la búsqueda fue encontrar artículos que contengan la palabra "*rubberized concrete*" en el título, el resumen o en las palabras clave en el período comprendido entre 1990 y 2020.

El tema principal elegido para el análisis bibliométrico fue el uso de caucho en concreto, por lo que la primera búsqueda de artículos se realizó considerando que debían contener la palabra clave inicial "*rubberized concrete*". Se dio prioridad a los artículos que se encontraron en idioma inglés, así como en la base de datos Scopus. Para el período de análisis, se han registrado 610 artículos en Scopus y 357 en WoS. La primera publicación registrada en la base de datos Scopus fue en 1990 por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM). El año de 2020 fue el de mayor producción científica con 125 artículos publicados en la base de datos Scopus y un total de 97 artículos en WoS. En la figura 2 se puede apreciar con mayor detalle cómo ha incrementado el estudio de este material para su aplicación en la construcción.

Los resultados obtenidos muestran la tendencia creciente del estudio del uso de caucho en mezclas

de concreto en los últimos diez años y destacan los artículos más relevantes utilizando el índice *InOrdinatio*.

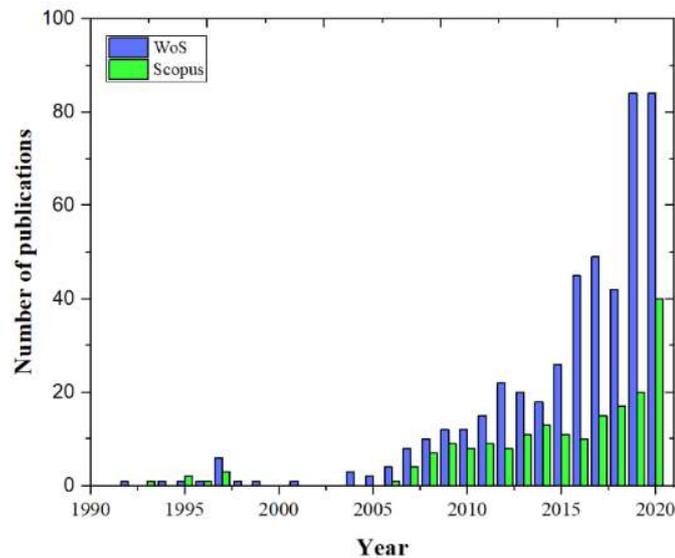


Figura 2. Número de artículos publicados por año.

La Figura 2 muestra que la frecuencia del número de artículos publicados por año en el estudio del uso de caucho en concreto es algo inconsistente, sin embargo, en los últimos diez años los científicos han tomado este tema en sus trabajos de investigación con más frecuencia. Esto resultó en una mayor productividad de los artículos (aparentemente la tendencia seguirá en aumento en los próximos años) y actualmente se investiga como una alternativa para mitigar la contaminación global causada por el desecho de neumáticos.

De acuerdo con la base de datos Scopus, hay un total de 610 artículos publicados sobre el tema '*rubberized concrete*' y un total de 1182 autores entre enero de 1990 y noviembre de 2020.

La Figura 3 demuestra que el año con mayor actividad científica fue el año 2020 con un total de 409 autores. La tendencia de investigación sobre el tema ha aumentado sustancialmente a lo largo de los años.

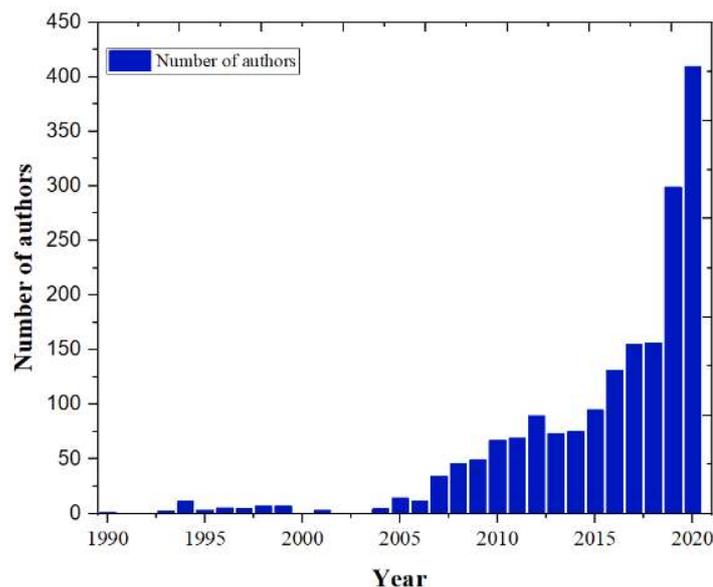


Figura 3. Número de autores por año 1990-2020.

La Figura 4 muestra el ranking de los diez países con mayores contribuciones en el tema 'rubberized concrete', los primeros diez lugares han sido considerados en base a la cantidad de artículos por año.

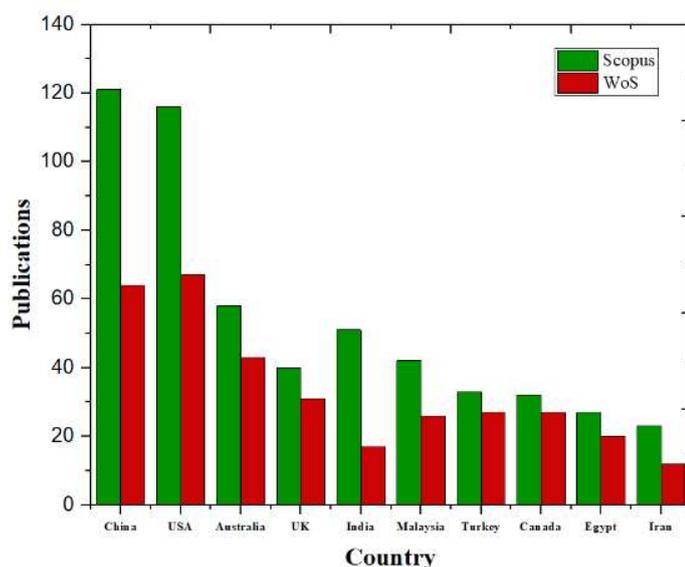


Figure 4. Top 10 of countries with the largest number of publications (Scopus and WoS).

El país con mayor productividad científica es China con 121 artículos publicados de acuerdo a Scopus y 64 en WoS, el segundo lugar es ocupado por Estados Unidos y Australia en tercer lugar. Una vez definido el conjunto de artículos para el análisis de la literatura, se realizó la búsqueda tanto en Scopus como en Web of Science. Para ello, se utilizó las siguientes expresiones de búsqueda: 'TITLE-ABS-KEY (rubberized AND concrete) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2021' en Scopus, y para el caso de Web of Science 'TITLE-ABS-KEY (rubberized AND concrete) AND PUBYEAR > 1989 AND PUBYEAR < 2021'. Para el caso de WoS se consideró la colección completa, mientras que para Scopus se consideró la totalidad de su base de datos.

El portafolio total está conformado por un total de 967 de artículos. En la figura 4 se muestra cómo durante la aplicación del método *InOrdinatio* los artículos fueron descartados por relevancia o que su valor *InOrdinatio* no fuera suficiente alto para ser tomado en cuenta en el portafolio final de documentos a analizar. En la tabla 1 se encuentran los artículos que cumplieron con los criterios establecidos para un valor alfa igual a 7. La cantidad de artículos a analizar generados por el orden *InOrdinatio* fue significativa, dado el reciente aumento de productividad en el tema, en comparación con la última década, sin embargo, los artículos cumplieron el valor mínimo o mayor. Esto, debido a diversos factores como el número insuficiente de citas o el bajo factor de impacto de la revista para alcanzar el valor propuesto.

Tabla 1. Número de artículos antes de la aplicación de los filtros.

Filtro	Portafolio artículos	Artículos que cruzan	Artículos restantes	%
WoS	610			
Scopus	357			
Portafolio inicial	967			100
Duplicados	140	140	827	85.52
Reviews, Book articles, conferencias	98	98	729	75.38
Artículos publicados antes 2010	105	105	624	64.52
In Ordinatío <75	617	617	7	0.72
Total de artículos descartados	911			
Total de artículos considerados	7			

Tabla 2. Lista de artículos clasificados por medio del orden *InOrdinatio* que conforman el portafolio final.

Autor	Título	Año	InOrdinatio Alfa= 7	InOrdinatio
Pelisser et al.	Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition (Pelisser et al., 2011)	2011	1	280.007246
Najim et al.	Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete (Najim & Hall, 2012)	2012	2	181.004419
Su et al.	Properties of concrete prepared with waste tire rubber particles of uniform and varying sizes (Su et al., 2015a)	2014	3	135.007246
Thomas et al.	Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance (Thomas et al., 2016)	2016	4	132.007246
Onuaguluchi et al.	Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume (Onuaguluchi & Panesar, 2014)	2014	5	121.007246
Xue et al.	Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy-dissipation capability (Xue & Shinozuka, 2013)	2013	6	104.004419
Youssif et al.	An experimental investigation of crumb rubber concrete confined by fibre reinforced polymer tubes (Youssif et al., 2014)	2014	7	87.004419

A pesar de que la mayoría de los artículos analizados han sido publicados recientemente, esto afecta al portafolio final de artículos ya que la mayoría de ellos no tienen las citas suficientes para cumplir con un valor de *InOrdinatio* igual o superior a 75 (tabla 2). Sin embargo, esto no significa que no existan artículos que en el futuro serán un punto de referencia para el estudio del uso del caucho en la construcción, específicamente en el concreto estructural y no estructural. Un ejemplo es la

interfaz caucho-cemento que, en el futuro, será de gran utilidad para el desarrollo de mezclas de concreto con adición de caucho a partir de este tema de investigación. Otros investigadores han aportado datos que serán útiles para investigaciones a largo plazo sobre el uso del caucho como aditivo en materiales compuestos y su eficiencia estructural (Ataria & Wang, 2019). Los artículos más importantes de acuerdo a los criterios establecidos en este análisis se enumeran en Tabla 2. Otros autores también han proporcionado un resumen de 30 años de investigación del caucho como material de construcción, proporcionando un análisis extenso sobre el pretratamiento, propiedades mecánicas, propiedades físicas y otros datos útiles (Roychand et al., 2020). Durante el análisis *InOrdinatio*, se analizaron un total de 967 artículos. Después de la aplicación del filtro número dos, un total de 382 artículos fueron considerados para el análisis final. La tabla 3 muestra las diez palabras clave más usadas en estudios de caucho en concreto, así como su frecuencia. Estos artículos fueron posteriormente analizados con el software VOSviewer, donde se puede apreciar que la palabra clave con mayor presencia en la mayoría de los artículos de estudios es 'rubber' con un total de 355 veces y la de menor frecuencia es "mechanical properties" con un total de 82 veces.

Tabla 3. Top 10 co-ocurrencia de palabras claves en el análisis bibliométrico

Palabra clave	Co-ocurrencia
rubber	355
rubberized concrete	305
concretes	234
compressive strength	218
aggregates	162
concrete aggregates	127
crumb rubber	128
tires	95
tensile strength	94
mechanical properties	82

En la Figura 5 se puede observar que la prioridad de los investigadores es incorporar el caucho en la industria de la construcción, de acuerdo a la literatura. Debido a que se trata de un problema de contaminación mundial, esta tendencia se refleja en el uso de las distintas palabras clave que se presentan en la tabla antes mencionada. Asimismo, en el tema del concreto con caucho, uno de los problemas que los investigadores han tratado de mejorar a lo largo de los años es la resistencia a la compresión, ya que es una de sus principales funciones, por lo que el estudio de esta propiedad específica es prioritario. Por esta razón, su frecuencia es mayor en comparación con las propiedades mecánicas. Tenga en cuenta que se pueden encontrar diferencias al cambiar los comandos booleanos, por lo que los resultados pueden ser diferentes y más específicos.

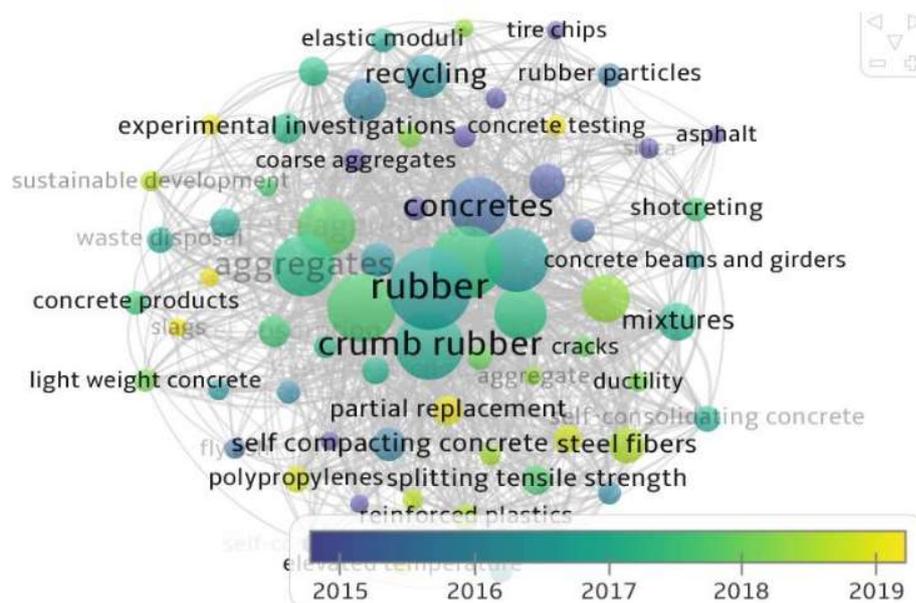


Figura 5. Diagrama de palabras clave basado en su co-ocurrencia.

Durante 30 años (1990-2021) de investigación en el tema del uso del caucho en el hormigón, 1,182 autores han participado en investigaciones del tema. Los autores con mayor número de citas y artículos publicados se enumeran en la Tabla 4. Sin embargo, fue hasta 2010 que el tema presentó un aumento considerable en la producción de artículos y documentos relacionados en los que diferentes estudios pretendían mejorar las propiedades del concreto con la adición de caucho en aplicaciones industriales.

Table 4. Top 10 de autores basado en la cantidad de documentos publicados y número de citas

Autor	Documentos	Citas
Mills J. E.	20	414
Youssf O.	18	399
Hassanli R.	17	234
Silvestre N.	11	187
Guadagini M.	14	166
Pilakoutas K.	14	166
Ma X.	11	164
De Brito J	9	147
Duarte A. P. C.	8	141
Julio E.	8	141

En cuanto a productividad, tenemos a Mills J. E. con 414 citas y 20 documentos hasta 2020, siendo el autor con mayor productividad. Por otro lado, los autores Duarte A. P. C. y Julio E. con 8 documentos y 141 citas ocupan los dos últimos lugares. La Figura 6 representa gráficamente el comportamiento de los datos presentados en la tabla 4. Este diagrama tiene como objetivo mostrar la coautoría, que es reflejado en la productividad. Esto ayuda a proporcionar un punto de partida para saber qué autores consultar si se pretende realizar una investigación sobre el tema de concreto con caucho añadido.

Durante el período contemplado entre los años 1990-2020, considerado en este trabajo, desde la publicación del primer artículo según la base de datos Scopus en 1991, el número de artículos publicados por año ha sido inferior a 10 hasta 2007.

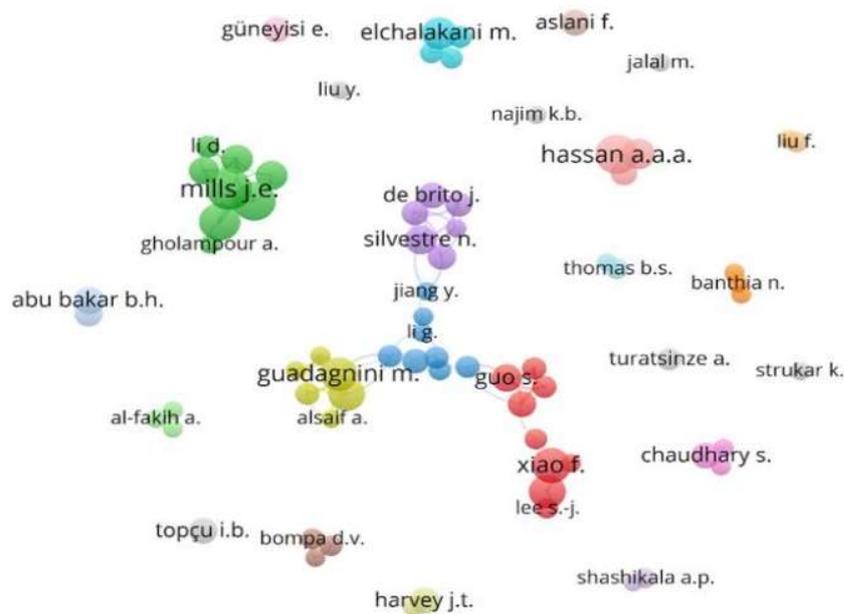


Figura 6. Diagrama de Co-autoría de publicaciones basadas en 'rubberized concrete'

Durante el período de 1990 a 2020, se han publicado un total de 610 documentos según la base de datos Scopus. Se observa una tendencia inconsistente en las publicaciones hasta 2007, a partir de ese año, la productividad comenzó a aumentar significativamente hasta la actualidad. Para un mejor análisis, la figura 5 contiene los datos de los artículos publicados por año.

Tabla 5. Productividad de artículos por año del tópic 'rubberized concrete'

Año	Artículos	Año	Artículos	Año	Artículos
1990	1	2001	2	2012	38
1991	0	2002	0	2013	27
1992	0	2003	0	2014	26
1993	1	2004	6	2015	30
1994	5	2005	5	2016	51
1995	2	2006	6	2017	58
1996	3	2007	9	2018	53
1997	6	2008	16	2019	87
1998	4	2009	21	2020	111
1999	2	2010	17		
2000	0	2011	23		
Total			610		

China, a pesar de ser el primer país con mayor productividad, es el noveno más citado. Mientras, el que ocupa el primer puesto es Irán con 482 citas, por lo que a pesar de su menor productividad ocupa el primer puesto (tabla 6). Esta tendencia puede deberse a que los artículos publicados por investigadores iraníes tienen un factor de impacto de revista más alto en comparación con los investigadores chinos que a pesar de su alta productividad, su factor de impacto no es tan alto. Un ejemplo de esto son Su et al. (2015b) y Chen et al. (2019) que a pesar de ser artículos antiguos pueden considerarse clásicos sobre el tema.

Table 6. Top 10 de los países más citados.

País	Citas
Iran	482
Turkey	435
Canada	362
United States of America	282
Australia	271
India	231
Iraq	148
Egypt	113
China	84
Malaysia	65

Australia y Estados Unidos tienen una relación productividad-citas similar. Siendo estos los países más importantes cuando se consideran ambas variables. Sin embargo, Irán presenta el mayor número de citas y el décimo lugar en productividad de documentos. La Figura 7 muestra una representación gráfica de la colaboración entre países y cómo están vinculados entre sí. Es un complemento al diagrama de la Figura 6, pero se centra en la colaboración entre países en un intento de especificar qué lugares del mundo tienen interés en el tema en términos de productividad científica.

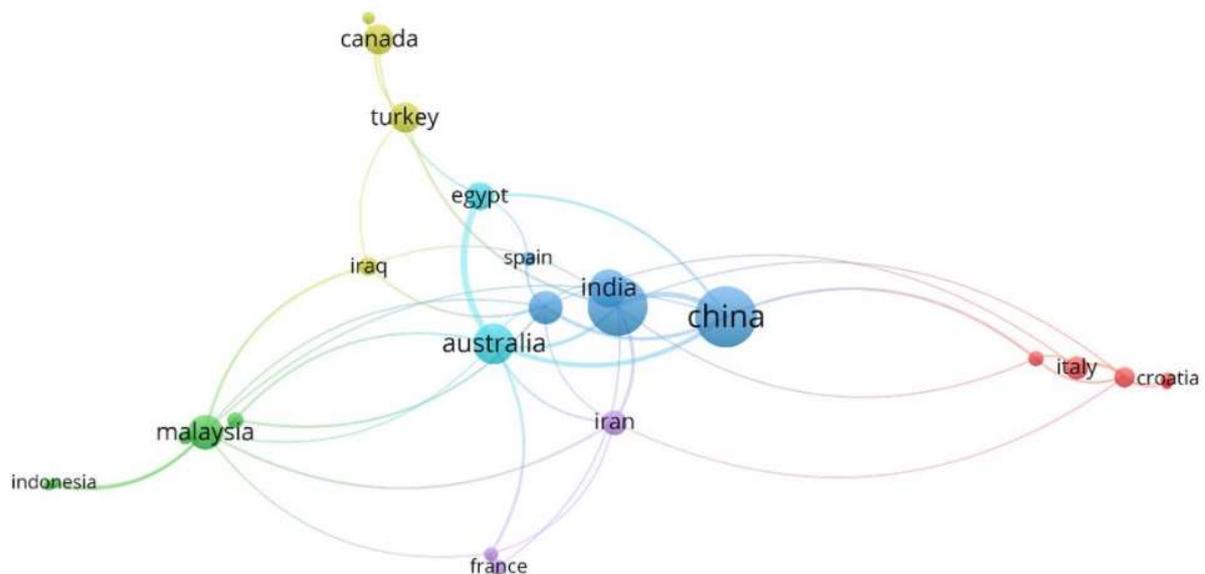


Figura 7. Colaboración entre países basado en la co-autoría de publicaciones del tema 'rubberized concrete'

La revista con mayor productividad es Construction and Building Materials con un factor de impacto de 4.69. Sin embargo, Journal of Cleaner Production tiene un factor de impacto de 7.10, estos valores de impacto son de acuerdo a Clarivate Analytics.

Los objetivos y el alcance de las revistas son principalmente construcción, ciencia de materiales y temas ambientales. En general, la mayor parte de la investigación se centra en la construcción sostenible (Su et al., 2015b), materiales alternativos (Yang et al., 2018) y, en algunos casos, análisis mecánico de estructuras (Ataria & Wang, 2019) (Tabla 7).

Tabla 7. Productividad de publicaciones y citas por revista

Fuente	Documentos	Citas
Construction and Building Materials	115	3739
Journal of Cleaner Production	32	1354
Journal of Materials in Civil Engineering	23	1291
Engineering Structures	8	153
ACI Materials Journal	13	187
Materials and Structures/Materiaux et Constructions	11	403
Materials	14	86
Composite Structures	8	82
Journal of Building Engineering	7	142
Structures	6	95

Las tres revistas con mayor número de citas son *Construction and Building Materials* con 3739 citas, *Journal of Cleaner Production* con 1354 y *Journal of Materials in Civil Engineering* con 1291. Estas tres revistas son las de mayor productividad y cantidad de citas en el mundo (Tabla 7). La Figura 8 muestra gráficamente cómo se comportan los datos y proporciona una idea de cuáles son las revistas más importantes que los autores consideran para sus publicaciones. Es un complemento de la tabla 7 y nos brinda una representación visual de los datos presentados en esta tabla.

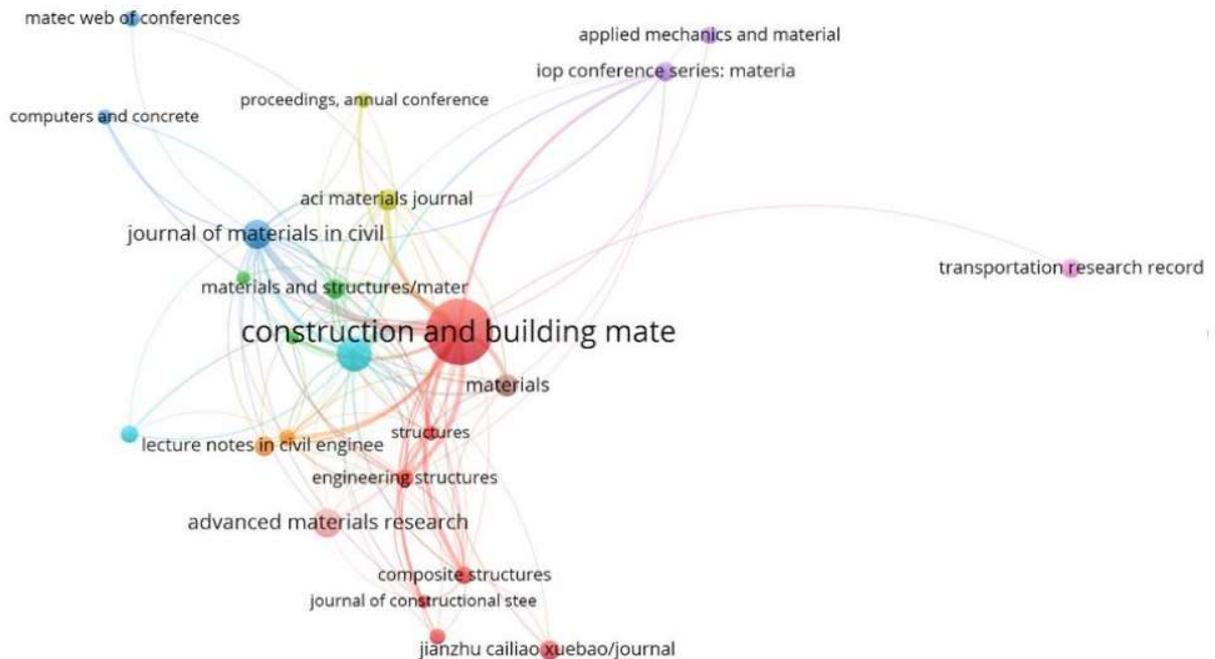


Figura 8. Mapa bibliométrico basado en las citas de las revistas más relevantes en el tema 'rubberized concrete'

4. REVISIÓN CRÍTICA DE LAS PRINCIPALES CONTRIBUCIONES Y NECESIDADES ACTUALES DE HORMIGÓN CON RESIDUOS DE NEUMÁTICOS

En investigaciones se pudo comprobar que el uso de microsilice mejora la resistencia mecánica del hormigón con la adición de caucho (hormigón de caucho). Solo se puede obtener un 14% de reducción en la resistencia a la compresión. Sin embargo, sería interesante investigar cómo se puede afectar o mejorar la resistencia a la compresión con el complemento de microsilice. El microsilice aporta una mejor interfaz entre el caucho y el cemento, por lo que se puede proponer para el diseño de mezclas de concreto con la adición de caucho como material cementoso para mejorar la interfaz entre el caucho y el cemento (Pelisser et al., 2011).

Las propiedades mecánicas y dinámicas de autocompactación del concreto fueron investigadas, se utilizó caucho granulado como sustituto del agregado fino, agregado grueso y sustitución de ambos (agregado fino y grueso). Las propiedades mecánicas del hormigón con adición de caucho en este caso son suficientes para ser utilizado en un entorno real. Sin embargo, los resultados de las pruebas de propiedades dinámicas superaron los datos obtenidos en las pruebas realizadas sobre hormigón convencional. La continuidad de este trabajo puede realizarse realizando un análisis sísmico que pueda arrojar algo de luz sobre la aplicación de este material en elementos estructurales como cimentaciones (Najim & Hall, 2012).

Investigaciones relacionadas con problemas de durabilidad en concreto con adición de caucho concluyeron que para un porcentaje de 7.5% se obtiene una menor penetración de cloruros en el material. En cuanto al ataque ácido, se observa una disminución de peso y resistencia a la compresión de la muestra. A su vez, la capacidad de disipación de energía del hormigón puede aumentar con la adición de caucho. Esta propiedad tiene una aplicación potencial en estructuras expuestas a terremotos. Se concluyó que la adición de caucho reduce la respuesta a las vibraciones (Tomas et al., 2016).

La influencia del tamaño de partícula de caucho en la adición también fue investigada. Se concluyó que la adición de caucho en el hormigón afecta la manejabilidad y la permeabilidad en comparación con un hormigón convencional. Específicamente, tamaños más grandes de partículas mejorarán las propiedades mencionadas anteriormente. Investigaciones más rigurosas deben ser realizadas para analizar la granulometría y determinar un tamaño de partícula óptimo de caucho para obtener mejores propiedades físicas con respecto a la norma ASTM C 33, lo que puede darnos un parámetro para una aplicación desde un punto de vista más técnico, así como que podría dar la pauta para crear un sistema de diseño para mezclas de concreto con la adición de caucho (Youssif et al., 2014).

4. CONCLUSIÓN

Este artículo tuvo como objetivo analizar los últimos 30 años de investigación sobre el caucho y su aplicación en hormigones estructurales y no estructurales a través del análisis *Methodi Ordinatio*. El análisis bibliométrico de la literatura mostró que, desde 2010 los científicos han considerado el impacto de la contaminación a nivel mundial provocada por los neumáticos de desecho, lo que lleva a la comunidad científica a buscar la forma de reducirla mediante la reutilización.

Durante estos 30 años, se han publicado 967 documentos sobre el uso del caucho en concreto estructurales y no estructurales durante el período 1990-2020, 1182 autores han contribuido sobre el tema hasta el momento de escribir este artículo.

Se han estudiado diferentes propiedades como la resistencia a la compresión, el volumen de caucho en las mezclas de hormigón, así como la granulometría de las partículas de caucho y su posible influencia en la resistencia del hormigón.

Actualmente, nuevos estudios revelan datos que servirán en futuras investigaciones como el comportamiento de la interfaz caucho-cemento y el potencial que tiene el caucho cuando se utiliza en materiales compuestos. Todo ello abre una nueva etapa en la investigación de este material para su aplicación directa en diferentes tipos de situaciones en la industria de la construcción.

De acuerdo con el análisis de la literatura, el uso del caucho en el concreto tiene una menor resistencia mecánica que el hormigón convencional y también la resistencia mecánica disminuye a medida que aumenta el volumen de caucho en la mezcla de hormigón, aunque el potencial como adición en materiales compuestos muestra que la incorporación de la adición de caucho puede ser beneficioso en aplicaciones estructurales. El uso de diferentes tamaños de partículas en la adición de caucho es un tema que aún requiere un estudio más profundo, ya que faltan datos concluyentes sobre la granulometría de la adición y su efecto sobre el hormigón. En la actualidad, es teóricamente conocido que el tamaño puede influir en la resistencia a la compresión y su porosidad, sin embargo, no existen tamaños específicos que permitan un estándar de diseño para mezclas de concreto con adición de caucho.

En un contexto global, se puede observar con base a los datos que, según los datos analizados, desde 2010, se ha incrementado el interés de los investigadores por introducir el caucho en la construcción con el fin de reducir la contaminación a nivel global. Sin embargo, aún falta una normativa para su uso en una situación real, valores de granulometría y un método de diseño de mezcla para esta adición específica, por lo que hay que investigar más sobre las características de este material para que pueda ser regulado para su uso apropiado.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el soporte del Proyecto Cátedra CONACYT número 746, LNS_202101008N y al Proyecto CONACYT Fronteras (2096029).

6. REFERENCIAS

- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., Baeyens, J. (2009). *Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review*. Waste Management, 29(10), 2625–2643. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>
- Ataria, R. B., Wang, Y. C. (2019). *Bending and shear behaviour of two layer beams with one layer of rubber recycled aggregate concrete in tension*. Structures, 20, 214–225. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.03.014>
- Chen, Z., Li, L., Xiong, Z. (2019). *Investigation on the interfacial behaviour between the rubber-cement matrix of the rubberized concrete*. Journal of Cleaner Production, 209, 1354–1364. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.305>
- de Campos, E. A. R., Pagani, R. N., Resende, L. M., Pontes, J. (2018). *Construction and qualitative assessment of a bibliographic portfolio using the methodology*, Methodi Ordinatio. Scientometrics, 116(2), 815–842. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2798-3>
- Ghosh, S. K. (Ed.). (2019). *Waste Management and Resource Efficiency: Proceedings of 6th IconSWM 2016*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7290-1>
- Najim, K. B., Hall, M. R. (2012). *Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete*. Construction and Building Materials, 27(1), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.013>
- Onuaguluchi, O., Panesar, D. K. (2014). *Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume*. Journal of Cleaner Production, 82, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.068>
- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., Resende, L. M. (2015a). *Methodi Ordinatio: A proposed*

- methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication.* Scientometrics, 105(3), 2109–2135. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>
- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., Resende, L. M. (2015b). *Methodi Ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication.* Scientometrics, 105(3), 2109–2135. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>
- Pamplona Solis, B., Cruz Argüello, J. C., Gómez Barba, L., Gurrola, M. P., Zarhri, Z., Trejo Arroyo, D. L. (2019). *Bibliometric Analysis of the Mass Transport in a Gas Diffusion Layer in PEM Fuel Cells.* Sustainability, 11(23), 6682. <https://doi.org/10.3390/su11236682>
- Pelisser, F., Zavarise, N., Longo, T. A., Bernardin, A. M. (2011). *Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition.* Journal of Cleaner Production, 19(6–7), 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.014>
- Perez, J. G. (2015). *Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho.* 79.
- Roychand, R., Gravina, R. J., Zhuge, Y., Ma, X., Youssf, O., Mills, J. E. (2020). *A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete.* Construction and Building Materials, 237, 117651. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117651>
- Ruwona, W., Danha, G., Muzenda, E. (2019). *A Review on Material and Energy Recovery from Waste Tyres.* Procedia Manufacturing, 35, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.029>
- Su, H., Yang, J., Ling, T.-C., Ghataora, G. S., Dirar, S. (2015a). *Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes.* Journal of Cleaner Production, 91, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.022>
- Su, H., Yang, J., Ling, T.-C., Ghataora, G. S., Dirar, S. (2015b). *Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes.* Journal of Cleaner Production, 91, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.022>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., Panicker, V. J. (2016). *Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: Durability-related performance.* Journal of Cleaner Production, 112, 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.046>
- What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. (2019, January 7). *Green Growth Knowledge Platform.* <https://www.greengrowthknowledge.org/research/what-waste-20-global-snapshot-solid-waste-management-2050>
- Xue, J., Shinozuka, M. (2013). *Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy-dissipation capability.* Construction and Building Materials, 42, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.005>
- Yang, Z., Ji, R., Liu, L., Wang, X., Zhang, Z. (2018). *Recycling of municipal solid waste incineration by-product for cement composites preparation.* Construction and Building Materials, 162, 794–801. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.081>
- Youssf, O., ElGawady, M. A., Mills, J. E., Ma, X. (2014). *An experimental investigation of crumb rubber concrete confined by fibre reinforced polymer tubes.* Construction and Building Materials, 53, 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.007>