



## Retos y oportunidades de la fundición en México.

F.V. Guerra, A. Bedolla-Jacuinde, J.A. Verduzco, C. Borja-Soto, S. Pacheco-Cedeño

Para citar este artículo: Guerra F.V., Bedolla-Jacuinde A., Verduzco J.A., Borja-Soto, C., Pacheco-Cedeño S. 2022. Retos y oportunidades de la fundición en México. Ciencia Nicolaita, número 83, 248-256 XX. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi83.580>

Online

[Ver material suplementario](#)

View

[Publicado en línea, enero de 2022](#)

Send

[Envíe su artículo a esta revista](#)

# Retos y oportunidades de la fundición en México.

F.V. Guerra <sup>1\*</sup>, A. Bedolla-Jacuinde <sup>1</sup>, J.A. Verduzco, C. Borja-Soto <sup>1</sup>, S. Pacheco-Cedeño<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales, México

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

## HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recibido: 25 de septiembre de 2021

Aceptado: 22 de noviembre de 2021

## RESUMEN

En el presente artículo se describen algunos de los retos y oportunidades clave para el crecimiento y desarrollo de la industria de la fundición en México donde se resaltan las ventajas que tiene México como un importante productor de vehículos automotor a nivel internacional lo cual puede ser aprovechado para impulsar la industria de la fundición nacional. Se describen algunas de las innovaciones más importantes en el área de la fundición que se han realizado en los últimos años para las cuales el proceso de desarrollo ha requerido de una gran cantidad de tiempo, recursos económicos y humanos. Por lo tanto, se destaca la importancia de la vinculación entre la industria y las universidades y centros de investigación para desarrollar nuevas tecnologías y generar un mayor valor agregado a los productos.

**PALABRAS CLAVE:** Fundición, desarrollo, tecnología, colaboración universidad-industria.

## ABSTRACT

This article describes some of the key challenges and opportunities for the growth and development of the metal casting industry in Mexico, highlighting the advantages of Mexico as an important international manufacturer of vehicles, which in turn, can be used to boost the domestic foundry industry. This article also describes some of the most important innovations in the area of foundry that have been made in recent years, highlighting the great amount of time, financial and human resources required for its development. Therefore, the importance of the collaboration between the industry, universities and research centers becomes essential to develop new technologies and add a greater value to the products.

**KEYWORDS:** metal casting industry, relationship university

## Introducción

En las décadas recientes la industria automotriz Mexicana ha tenido un notable crecimiento gracias a los diferentes tratados y acuerdos de comercio con diferentes países. Además la manufactura y mano de obra mexicana gozan de cierto prestigio a nivel internacional, lo que hace que los productos fabricados en México tenga un alto grado de aceptación en mercados internacionales. En la última década nuestro país se ha mantenido dentro de los primeros 7 lugares a nivel mundial en producción de vehículos ligeros (IOCA, 2021).

En el caso particular de la industria automotriz, en los últimos 10 años se ha tenido un incremento en la producción de alrededor de un 60%, de acuerdo con los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) así como un incremento del 80% en la exportación de vehículos ligeros desde el 2010 a inicios del 2021 (INEGI, 2021).

Gran parte de los componentes utilizados para la fabricación de automóviles son fabricados por medio de fundición, algunos de estos elementos son; monoblocks, cabezas de motor, pistones, soportes, árboles de levas, discos de freno, manguetas, bastidores, consolas, rines, carcasas de dirección y transmisión, entre otros.

Además de la producción de vehículos y la fabricación de autopartes de reemplazo, la industria de la fundición de hierro, acero y aleaciones no ferrosas, representan un sector productivo muy importante para nuestro país, en el caso de la industria acerera nacional, en los primeros 2 meses del 2021 se experimentó un crecimiento del 15.6% de acuerdo con lo reportado por la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (Canacero), este crecimiento se atribuye en gran medida

al alza en consumo por parte de la industria automotriz.

Actualmente, gran parte de las tecnologías utilizadas para la fabricación de aleaciones y componentes por medio de fundición en nuestro país son en su mayoría propiedad intelectual de empresas extranjeras, lo que limita a nuestra industria al ramo manufacturero y en algunos casos a producir aleaciones y componentes más tradicionales que genera un menor valor agregado.

Existe una notable diferencia en el valor agregado que puede generar un producto la cual reside en el grado de innovación, ingeniería y conocimiento (propiedad intelectual) necesarios para su fabricación tal como sucede en la actualizad con los dispositivos móviles, equipos de cómputo, automóviles y medicamentos.

Por lo tanto, el desarrollo de nuevas tecnologías más eficientes, componentes de mayor complejidad, aleaciones novedosas y de alto rendimiento así como la formación de capital humano altamente calificado para esta área representan puntos clave para que este sector industrial pueda seguir experimentando un alto grado de crecimiento.

## Desarrollo

Dentro de la industria metal-mecánica y específicamente en el área de la fundición y la solidificación existen nuevas tecnologías que se han sido desarrolladas en las últimas décadas. La mayor aportación a la industria de la fundición por parte de México, ha sido el desarrollo del proceso HyL, también conocido como de reducción directa para la obtención de hierro esponja mediante un gas reductor (F. Weston, 1959). Este proceso fue desarrollado en 1957 por Juan Celada Salomón, el cual dirigía un equipo de ingenieros e investigadores de la empresa HYLSA. A partir de esa fecha, han sido pocos los desarrollos científi-

cos y tecnológicos mexicanos que han logrado trascender a nivel mundial en el área de la fundición.

En décadas subsecuentes, se han realizado investigaciones que han dado como resultado avances significativos en el área de la fundición a nivel internacional, las cuales han sido resultado de investigaciones realizadas por diferentes equipos de trabajo con numerosos miembros y considerables inversiones de recursos económicos. Tal es el caso de aleaciones especiales, materiales solidificados direccionalmente, crecimiento de monocristales, así como novedosos procesos de moldeo y vaciado de metals, entre otros. En el caso particular del crecimiento de monocristales de silicio, esta tecnología ha permitido avances significativos en el área de la electrónica, telecomunicaciones, transporte, generación de energía, entre otros (W.Heywang).

El silicio es elemento metálico más abundante en nuestro planeta y el segundo de todos los elementos después del oxígeno (Kuhlmann, 1963). Este elemento es el principal componente de la corteza terrestre y principal constituyente de la mayoría de las rocas ("9 - Silicon," 1997). Sin embargo, esta abundancia no implica que los componentes fabricados a base de este material tenga un bajo costo. Un circuito integrado fabricado con unos cuantos

gramos de silicio puede llegar a costar miles de pesos. Caso similar al de muchas aleaciones metálicas base Hierro en el cual la transformación del metal a un producto terminado puede generar un incremento en el valor agregado del orden de miles de pesos, por lo que el desarrollo de técnicas o métodos para su obtención y procesamiento son de vital importancia para poder generar el crecimiento industrial y económico.

De la misma forma, las constantes innovaciones, desarrollo de nuevos materiales, mejoras en el diseño y la alta competitividad internacional crean un ciclo en el cual se hace necesario crear materiales para productos de mayor calidad, con mejores propiedades para aplicaciones más demandantes que en muchos tienen la finalidad de producir un mejor rendimiento, una mayor eficiencia energética ó potencia como es el caso de la industria de la aviación y automotriz.

Un ejemplo, es el caso de las fundiciones empleadas para la fabricación de turbinas requieren soportar altas temperaturas ya que a mayor temperatura se obtiene una mayor eficiencia de combustible (figura 1). En este caso, la solidificación direccional representó un avance importante en la que los límites de grano se orientan de una forma específica para obtener una mayor resistencia.

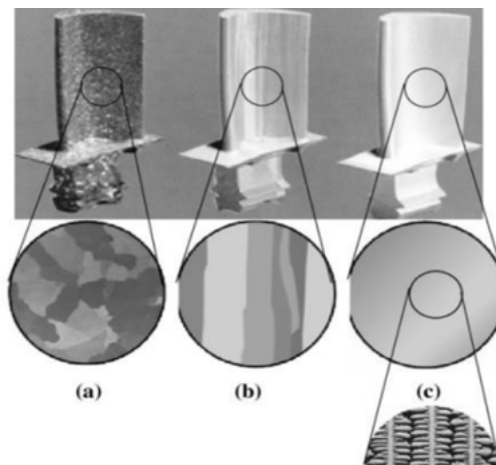


FIGURA 1. Evolución de la tecnología para la fabricación de alabes para turbinas (Dai *et al.*, 2008).

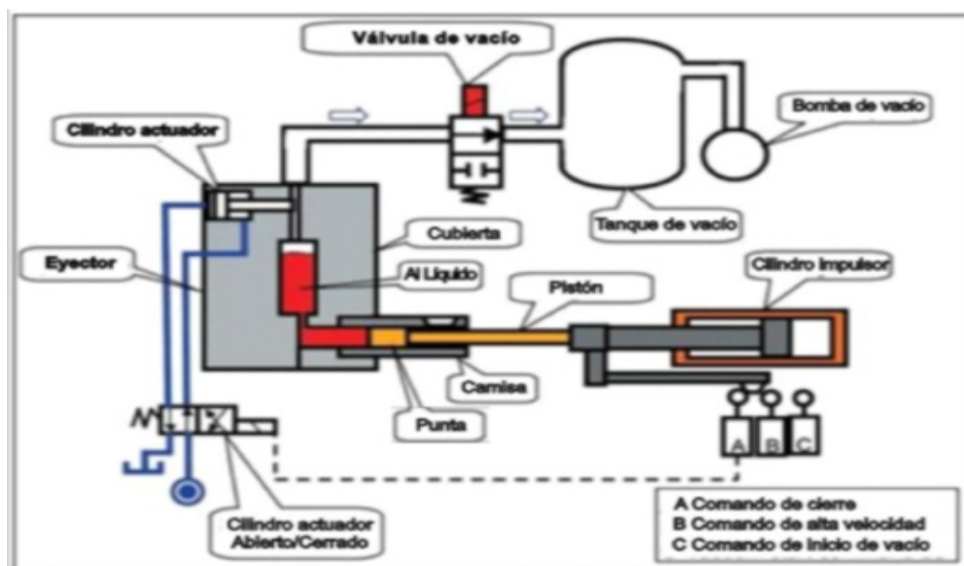


FIGURA 2. Esquema del sistema utilizado para la fundición por inyección de moldes al vacío (Uchida, 2009).

Otro avance importante para este tipo de aplicaciones es el crecimiento de monocristales, eliminando las desventajas que representa la presencia de límites de grano. Este proceso fue desarrollado en 1986 por Maurice “Bud” Shank y Frank VerSnyder. Shank inició su carrera como investigador en el MIT, sin embargo, abandonó su posición como miembro de la facultad de Ingeniería Mecánica para formar parte de la empresa fabricante de turbinas Pratt & Whitney en 1960. Shank reclutó a VerSnyder para después formar un grupo de alrededor de 200 científicos, ingenieros y técnicos enfocados en la investigación y desarrollo de crecimiento de monocristales. La historia de la tecnología muestra que un avance como las superaleaciones monocristalinas generalmente implica un proceso a largo plazo, típicamente 30 años o más (Engineering, 2019) además de una gran cantidad de recursos de diferentes especies.

Otro avance reciente en el área de fundición ha sido la inyección a presión al vacío de moldes (figura 2). Este proceso fue desarrollado en Japón en 1980 (Uchida, 2009), con este proceso se reduce el contacto con el aire disminuyendo el grado de porosidad incremen-

tando la densidad de las fundiciones lo cual se traduce en gran medida a la mejora de la calidad de diferentes componentes.

Este proceso también ayuda a disminuir la presión efectiva sobre los dados de inyección con lo cual se prolonga la vida del herramienta y se mejora la productividad.

La fundición contra-gravedad es otro proceso de reciente desarrollo, en el cual, un molde permeable es alimentado contra gravedad mediante el uso de vacío (figura 3), el cual fue desarrollado en 1982 por Chandley y colaboradores (Chandley, 1999) pertenecientes a la empresa Hitchiner ahora parte de GM. Este proceso ha sido complementado mediante el uso de un de presión positiva durante la solidificación para reducir la porosidad por contracción además de aumentar la distancia de alimentación (Archer, Hardin, & Beckermann, 2018).

Un proceso de moldeo revolucionario en la industria de la fundición para la parte de moldeo fue el moldeo al vacío (V-process) desarrollado por Sinto Group en 1972 (America, 2018). Este proceso utiliza vacío y una película plástica para mantener la forma del molde, con lo cual se evita el endurecimiento de la

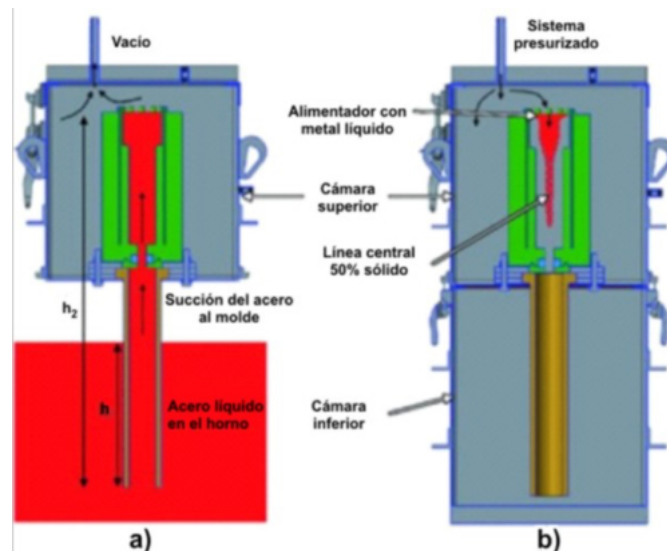


FIGURA 3. Diseño del sistema de vaciado contra gravedad con aplicación de presión positiva (Archer et al., 2018).

arena y facilita su reciclaje (figura 4). Este proceso es actualmente utilizado en más de 200 líneas de producción en 20 países, contribuye a obtener una alta eficiencia y es amigable con el medio ambiente al evitar el uso de resinas o aglutinantes para el endurecimiento de la arena.

Un proceso que ha sido desarrollado de forma más reciente es la fundición de bimetálicos directo de colada mediante vaciado de forma simultánea.

En este proceso se vacían 2 metales de composición y punto de fusión distintos y ha sido estudiado para vaciado de aleaciones Al/Mg (Jiang *et al.*, 2018) así como algunas aleaciones ferrosas (Xiao, Ye, Yin, & Xue, 2012). Este proceso también puede ser empleado para la fabricación de tubería bimetálica, en este caso, el vaciado no es simultáneo y se hace dentro de una máquina de colada centrífuga. (figura 5).

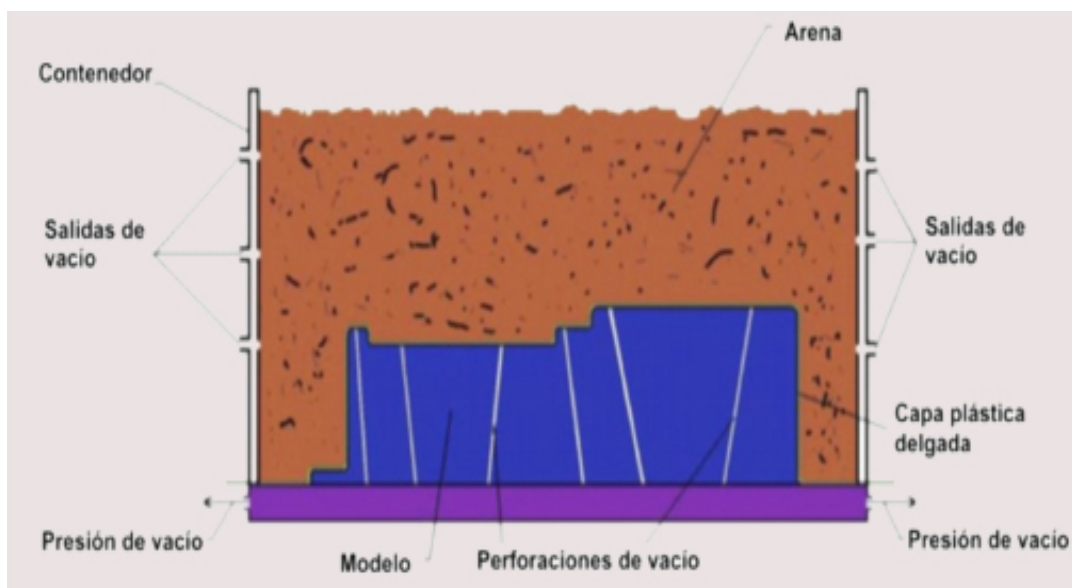


FIGURA 4. Esquema del proceso de moldeo al vacío (Eer, 1999).

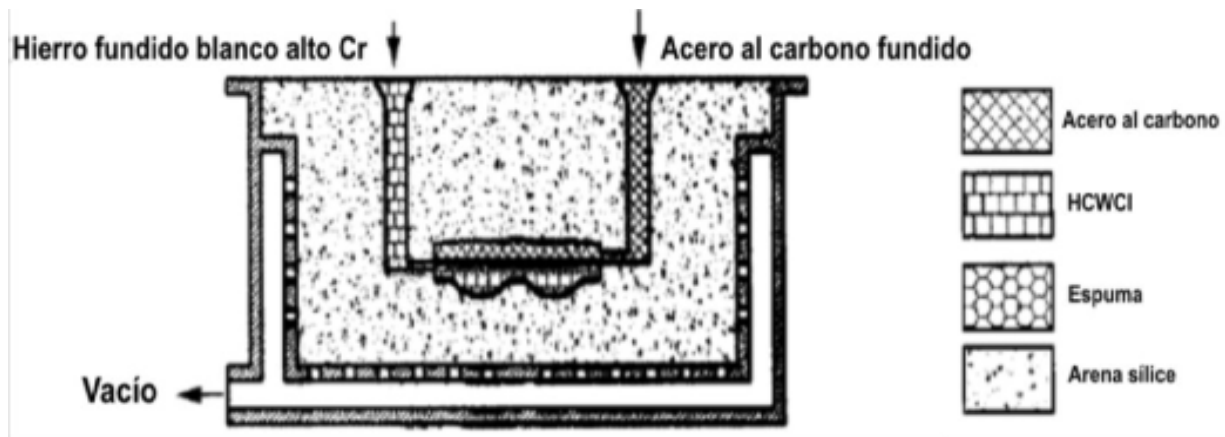


FIGURA 5. Diseño del sistema de vaciado contra gravedad con aplicación de presión positiva (Archer *et al.*, 2018).

Estudios recientes sobre fenómenos que ocurren en los procesos de fundición como son la transición de crecimiento columnar a dendrítico durante la solidificación (figura 6), los efectos de la micro-gravedad durante el llenado y la solidificación de aleaciones (figura 7) así como el arrastre de aire durante el vaciado de metal (figura 8) también representan aportaciones importantes a la ciencia de la fundición ya que el entendimiento de estos fenómenos se puede ver reflejado de forma directa en la calidad y mejora de las aleaciones y procesos.

Todos estos desarrollos científicos y tecnológicos han requerido de una vasta experimentación así como montos considerables de inversión de recursos siendo muchas veces

necesario contar con la colaboración de la iniciativa privada por lo que los resultados de estas investigaciones muchas veces no pueden ser publicados aunque si patentados. Por lo que la vinculación entre las universidades y investigación con la industria resulta de vital importancia para este tipo de desarrollos. Otro punto importante es que este tipo de desarrollos pueden requerir de periodos relativamente largos y algunas veces los resultados que se obtienen no son necesariamente los esperados.

Por lo tanto, muchas veces es los productos de estas investigaciones pueden verse reflejados después de tiempos considerablemente largos lo cual puede ser un factor a considerar para algunos investigadores sujetos a evaluaciones

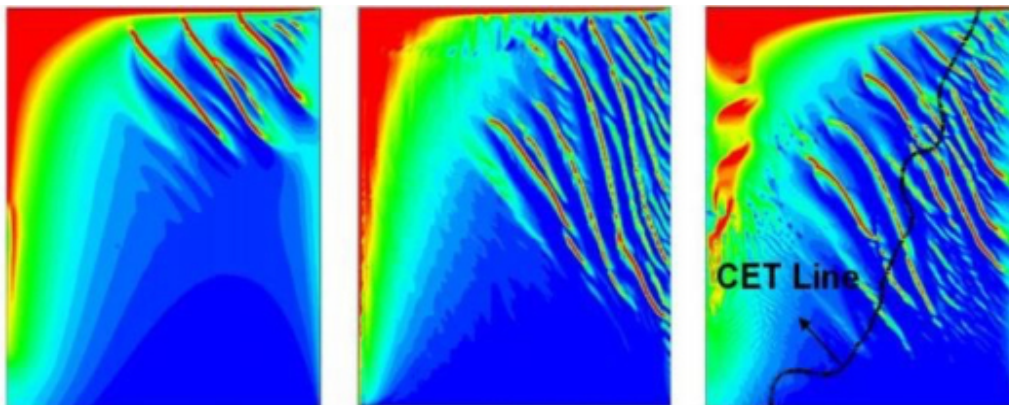
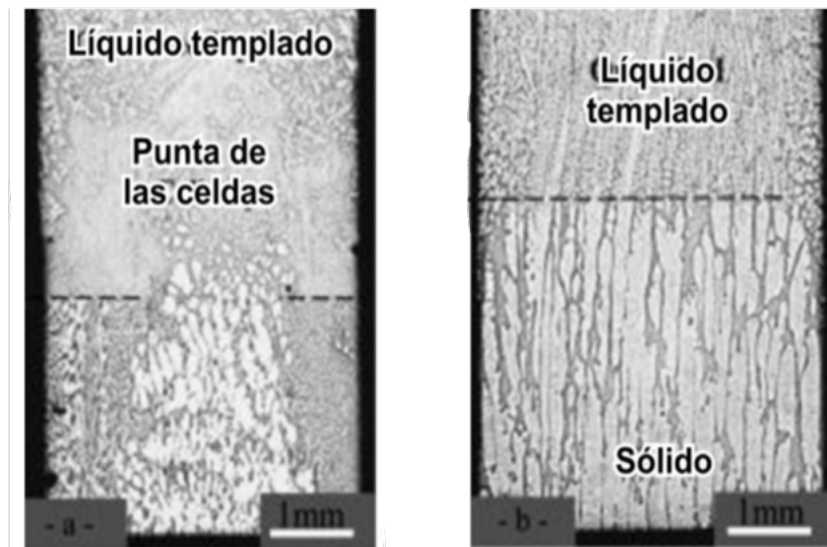
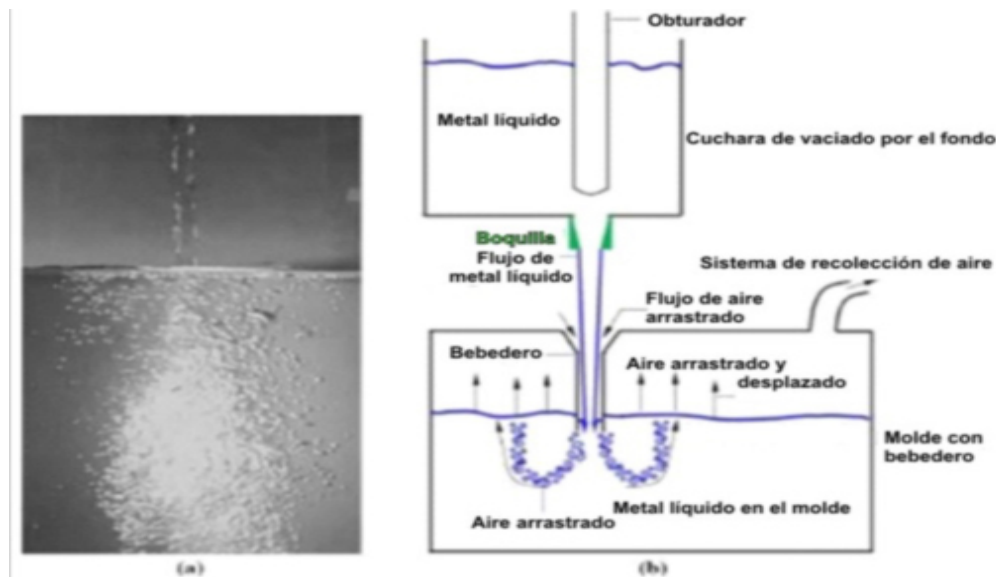


FIGURA 6. Mapa de la segregación en un crecimiento columnar sin sobreenfriamiento (a), crecimiento columnar con sobreenfriamiento (b) y la transición del crecimiento columnar a equiaxial (c) (Rad, 2018)



**FIGURA 7.** Comparación de la microestructura obtenida en tierra bajo el efecto de la gravedad (a) y en microgravedad (b) (Nguyen-Thi, Reinhart, & Billia, 2017)



**FIGURA 8.** Fenómeno de arrastre de aire. (a) Arrastre de aire en agua, (b) desgrana esquemático del fenómeno de arrastre (Guerra, Archer, Hardin, & Beckermann, 2020).

periódicas bajo un esquema mayoritariamente cuantitativo lo cual se suma a que muchas de las empresas en el área de la fundición son manufactureras y no se invierte en investigación y desarrollo en nuestro país. Empresas exitosas que residen en nuestro país como el caso de Nemark S.A.B. de C.V. han invertido por décadas importantes sumas de dinero y creado grandes grupos de investigadores enfocados en la investigación y desarrollo de

tecnologías y nuevos productos, lo cual es clave para el crecimiento de cualquier empresa. En este caso, Nemark en nuestro país cuenta con un grupo de más de 40 personas dedicadas a la investigación y desarrollo, apoyadas por más de 200 empleados, lo que ha contribuido a ser reconocido a nivel mundial como líder global en la fabricación de cabezas y bloques de motor de aluminio (NEMAK, 2014). La gran cantidad de vehículos que se

ensamblan en el territorio nacional y la reputación que tiene México como fabricante de vehículos y autopartes representa una gran ventaja para el crecimiento de la industria de la fundición, la cual puede ser aprovechada si se fabrica un mayor número de componentes con altos estándares de calidad lo cual permitiría escalar a posiciones más altas a la que ocupa México actualmente en la producción de vehículos en los próximos años. Es evidente que el crecimiento de la industria de la fundición en nuestro país, requiere del desarrollo de tecnologías propias para generar un mayor valor agregado a los productos que se fabrican por medio de esta técnica en nuestro país. Para esto será necesaria la inversión de recursos económicos y capital humano.

El desarrollo recursos humanos especializados y calificados en esta área se pueden lograr mediante la vinculación la industria de la fundición con las universidades, lo cual a mediano y largo plazo puede ser la clave para mantener la competitividad de la industria de la fundición mexicana a nivel internacional al ofrecer nuevos y mejores productos que permitan ser líderes en este sector. Sin embargo esta vinculación representa un reto importante ya que un gran número de empresas de este sector son manufactureras a las cuales la investigación y desarrollo de nuevos productos no les es muy atractivo. Así mismo, se debe de trabajar de manera conjunta para que las universidades de nuestro país puedan dar respuesta a las necesidades de la industria de forma inmediata, lo cual suele dificultarse al ser la docencia y el cumplimiento de indicadores sus principales prioridades. Es importante tomar en cuenta que los esfuerzos de las universidades y sus investigadores deben de verse reflejados sobre un beneficio social y económico para el pueblo mexicano, lo cual se puede lograr al promover la vinculación con la industria para aterrizar los proyectos

de investigación y formar capital humano con el conocimiento necesario para dar solución a problemas reales y generar innovación.

El desarrollo y crecimiento de la industria metal-mecánica y en el caso particular de la fundición nacional, debe traer como consecuencia la generación de una mayor derrama económica promoviendo la inversión de capital extranjero al contar con recursos humanos calificados, las condiciones climáticas, geográficas, estratégicas así como los acuerdos comerciales con los que cuenta nuestro país.

## Conclusiones

La industria de la fundición representa un sector de gran importancia para fortalecer a la economía nacional al aprovechar las ventajas que ofrece el alto volumen de vehículos que se ensamblan en el territorio nacional. El desarrollo de nuevas tecnologías mediante la formación de capital humano calificado y la vinculación entre la industria con las universidades y centros de investigación puede ser una ruta viable para generar un alto grado de crecimiento en este sector, lo cual se debe ver reflejado en un crecimiento paulatino de la economía nacional.

## Referencias

- 9 - Silicon. (1997). In N. N. Greenwood & A. Earnshaw (Eds.), *Chemistry of the Elements (Second Edition)* (pp.328-366). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- AMERICA, S. 2018. V-PROCESS TECHNOLOGY. RETRIEVED FROM [HTTPS://WWW.SINTO.COM/WHATTWEDO/TECHNOLOGIES/VPROCESS.HTML](https://www.sinto.com/whattwedo/technologies/vprocess.html)
- ARCHER, L., HARDIN, R. A., & BECKERMAN, C. 2018 . COUNTER-GRAVITY SAND CASTING OF STEEL WITH PRESSURIZATION DURING SOLIDIFICATION. *INTERNATIONAL JOURNAL OF METALCASTING*, 12(3), 596-606. DOI:10.1007/s40962-017-0200-5
- CHANDLEY, G. D. 19. USE OF VACUUM FOR COUNTER-GRAVITY CASTING OF METALS. *MATERIALS RESEARCH INNOVATIONS*, 3(1), 14-23. DOI:10.1007/s100190050120

- DAI, H., GEBELIN J.-C., NEWELL, M., REED, R. C., D'SOUZA, N., BROWN, P. D., & DONG, H. B. 2008. GRAIN SELECTION DURING SOLIDIFICATION IN SPIRAL GRAIN SELECTOR. *PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERALLOYS*. DOI:10.7449/2008/SUPERALLOYS\_2008\_367\_374
- EER. 1999. VACUUM CASTING. RETRIEVED FROM [HTTPS://SITES.GOOGLE.COM/SITE/VINAYPOTDARVIT/VACUUM- CASTING](https://sites.google.com/site/vinaypotdarvit/vacuum-casting)
- ENGINEERING, N. A. O. 2019. MEMORIAL TRIBUTES: VOLUME 22. WASHINGTON, DC: *THE NATIONAL ACADEMIES PRESS*.
- GUERRA, F. V., ARCHER, L., HARDIN, R. A., & BECKERMANN, C. 2020. MEASUREMENT OF AIR ENTRAINMENT DURING POURING OF AN ALUMINUM ALLOY. *METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS B*. DOI:10.1007/s11663- 020-01998-3
- HEYWANG W., ZAININGER K.H. 2004 SILICON: THE SEMICONDUCTOR MATERIAL. IN: SIFFERT P., KRIMMEL E.F. (EDS) *SILICON*. SPRINGER, BERLIN, HEIDELBERG. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-662-09897-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-09897-4_2)
- INEGI. 2021. REGISTRO ADMINISTRATIVO DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ DE VEHÍCULOS LIGEROS. RETRIEVED FROM [HTTPS://WWW.INEGI.ORG.MX/](https://www.inegi.org.mx/)
- INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS. 2020. *STATISTICS*. RETRIEVED FROM [WWW.OICA.NET](http://www.oica.net). 2021-04-15.
- KUHLMANN, A. M. 1963. THE SECOND MOST ABUNDANT ELEMENT IN THE EARTH'S CRUST. *JOM*, 15(7), 502-505. DOI:10.1007/BF03378936
- NEMAK. 2014. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. RETRIEVED FROM [HTTPS://WWW.NEMAK.COM/ES/PRODUCTOS- TECNOLOG%C3%ADas/?idN=8630](https://www.nemak.com/es/productos-tecnolog%C3%ADas/?idN=8630)
- NGUYEN-THI, H., REINHART, G., & BILLIA, B. 2017. ON THE INTEREST OF MICROGRAVITY EXPERIMENTATION FOR STUDYING CONVECTIVE EFFECTS DURING THE DIRECTIONAL SOLIDIFICATION OF METAL ALLOYS. *COMPTES RENDUS MÉCANIQUE*, 345(1), 66-77. DOI:HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CRME.2016.10.007
- RAD, M. T. 2018. MULTIPHASE MACROSCALE MODELS FOR MACROSEGREGATION AND COLUMNAR TO EQUIAXED TRANSITION DURING ALLOY SOLIDIFICATION (PhD), UNIVERSITY OF IOWA. RETRIEVED FROM [HTTPS://IR.UIOWA.EDU/CGI/VIEWCONTENT.CGI?ARTICLE=8153&CONTEXT=ETD](https://ir.uiowa.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8153&context=etd).
- UCHIDA, M. 2009. DEVELOPMENT OF VACUUM DIE-CASTING PROCESS. *CHINA FOUNDRY*, 6, 137-144.
- XIAO, X.-F., YE, S.-P., YIN, W.-X., & Xue, Q. 2012. HCW-CI/CARBON STEEL BIMETAL LINER BY LIQUID-LIQUID COMPOUND LOST FOAM CASTING. *JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH, INTERNATIONAL*, 19(10), 13-19. DOI:HTTPS://DOI.ORG/10.1016/S1006-706X(12)60145-9