

APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA KAIZEN EN LA SIMULACIÓN DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLE

APPLICATION OF THE KAIZEN PHILOSOPHY IN THE SIMULATION OF AN ASSEMBLY LINE

Tahimí Romero Urría

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m2103048@itcelaya.edu.mx

Vicente Figueroa Fernández

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx

Salvador Hernández González

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx

José Alfredo Jiménez García

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
josealfredo.jimenez@itcelaya.edu.mx

Israel de La Cruz Madrigal

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
israel.dm@celaya.tecnm.mx

Recepción: 14/noviembre/2022

Aceptación: 25/marzo/2023

Resumen

La industria 4.0, conocida también como la cuarta revolución industrial, posibilita la automatización de los procesos mediante la integración de sistemas computarizados. Una de las tecnologías que componen a la industria 4.0 es la simulación de procesos entre los cuales destacan los de manufactura. La filosofía Lean Manufacturing se enfoca en minimizar las pérdidas de los sistemas de manufactura a partir de un conjunto de técnicas aplicadas correctamente. La simulación de líneas de ensamble a partir de la aplicación de la filosofía kaizen contribuye a la eliminación de desperdicios, logrando así altos estándares de producción encaminados al cliente final. Con el apoyo de la simulación se puede determinar la cantidad de productos finales, producción en proceso o wip, así como los tiempos de espera de los equipos y la identificación de los cuellos de botella.

Palabras Clave: Desperdicios, industria 4.0, líneas de ensamble, simulación, filosofía kaizen.

Abstract

Industry 4.0, also known as the fourth industrial revolution, makes it possible to automate processes through the integration of computerized systems. One of the technologies that make up industry 4.0 is the simulation of processes, among which those of manufacturing stand out. The Lean Manufacturing philosophy focuses on minimizing losses in manufacturing systems based on a set of correctly applied techniques. The simulation of assembly lines based on the application of the kaizen philosophy contributes to the elimination of waste, thus achieving high production standards aimed at the end customer. With the support of the simulation, it is possible to determine the quantity of final products, production in process or wip, as well as the waiting times of the equipment and the identification of bottlenecks.

Keywords: Waste, industry 4.0, assembly lines, simulation, kaizen philosophy.

1. Introducción

La simulación como parte de las tecnologías presentes en la industria 4.0, permite conocer el comportamiento de los procesos y contribuye a la mejora de estos. Las líneas de ensamble han evolucionado con el decursar de los años, a medida que se han ido sucediendo las revoluciones industriales hasta llegar a la industria 4.0, donde el desarrollo de la tecnología ha sido un factor de impacto en la eficiencia de los procesos de ensamble.

Cabe destacar el papel del Lean Manufacturing en el desarrollo de los procesos de manufactura mediante el empleo de técnicas que contribuyen a la identificación y eliminación de factores que atentan contra la productividad en una empresa; y dentro de éste la filosofía kaizen juega un papel fundamental en el desarrollo de la mejora continua y la elevación de los estándares de calidad, permitiendo junto a la simulación de líneas de ensamble detectar la cantidad de producción en proceso, productos defectuosos, tiempo de espera de los equipos y las operaciones cuello de botella.

La Industria 4.0 se define como un nuevo modelo industrial para la autoorganización y la autogestión de sistemas de producción totalmente automatizados, que aprenden autónomamente y que son interactivos, en los que el núcleo son las nuevas tecnologías digitales y las tecnologías de Internet, y el papel de los humanos está limitado a su inicio, control y mantenimiento técnico, lo que requiere nuevas competencias de especialistas industriales modernos y está acompañado de cambios sociales [Sukhodolov , 2019].

La simulación ha permitido avanzar el curso de los hechos de modo que se pueden detectar y corregir los problemas sobre prototipos virtuales antes de que existan físicamente, minimizando así los costes de adaptaciones y modificaciones. El concepto de simulación se ha ido extendiendo de los productos a los procesos hasta llegar a la fábrica en su conjunto [Gubert, 2019].

La simulación de procesos de manufactura permite realizar una modelación que se aproxima a la realidad de dichos procesos, con lo cual es posible analizar el desempeño tanto de condiciones actuales, como futuras donde se proponen cambios. A partir de estos análisis de simulación se pueden tomar decisiones que permiten tener mayor certeza sobre los resultados esperados [Arango, Campuzano, & Zapata, 2015]. Por otro lado, la utilización de la simulación en los procesos de manufactura es una herramienta de gran aprovechamiento para el desempeño operacional. Gracias a la simulación es posible tomar decisiones sobre probables cambios a efectuar en los procesos de manufactura sin tener que generar cambios físicos que puedan entorpecer las operaciones. El uso de la simulación de procesos, mejora la eficiencia, incrementa la moral en el lugar de trabajo y en general contribuye al desempeño operacional [Cantú, Guardado, & Balderas, 2016].

La palabra Kaizen proviene de los términos japoneses "Kai": modificaciones y "Zen": para mejorar, por lo que se podría definir como "proceso de mejora continua".

Adoptar la filosofía Kaizen supone asumir la cultura del mejoramiento continuo, que se centra en la eliminación de los desperdicios y derroches en los sistemas productivos [Alvarez, 2020].

Con la simulación de procesos de manufactura se puede analizar la situación actual de un sistema de producción e implementar opciones de mejora con el empleo de

la filosofía Kaizen. La simulación, se desarrolla empleando el software de simulación ProModel versión estudiantil, por lo que es posible la detección y eliminación de las actividades que no generan valor o atentan contra el flujo productivo, estas actividades pueden estar dadas por:

- Tiempo de espera por parte de las estaciones al no tener el producto listo la estación anterior.
- Cantidad de productos defectuosos.
- Producción en proceso o wip.
- Identificación de los cuellos de botella.

Una vez definidas estas deficiencias es posible emplear la filosofía kaizen para la mejora continua y la calidad del flujo productivo, incrementando la productividad del sistema, reduciendo los tiempos ociosos de las principales locaciones y operarios.

2. Método

La metodología aplicada para el desarrollo de este artículo se basa en el seguimiento de los pasos para el desarrollo de la filosofía kaizen con el apoyo de la simulación, la consta de las siguientes etapas:

- Seleccionar los problemas que atentan contra los objetivos de la organización: En este paso se definen los objetivos de la organización en función de los cuales se trazarán las estrategias necesarias para su cumplimiento una vez identificados los elementos que atentan contra los mismos.
- Crear el equipo de trabajo: El equipo de trabajo debe ser multidisciplinar, con integrantes de diferentes áreas de la empresa y estará dirigido por un líder, que será el encargado de coordinar las reuniones y de informar sobre los progresos de cada área.
- Formulación del problema: Se identifican las locaciones, los recursos, las variables, y las entidades que componen el modelo de simulación; así como la descripción del proceso.
- Recolección y procesamiento de los datos del sistema: Una vez definido el problema se procesan los datos utilizando el software ProModel y se generan

los reportes. Se define el número de réplicas necesarias, se identifican las locaciones cuello de botella, la producción proceso al finalizar la simulación, la cantidad de productos existentes en el sistema y la cantidad de productos desechados.

- Gembutsu Gemba: En este paso se determinan las causas principales que afectan el proceso. Gembutsu Gemba significa «ir y ver». Por eso, esta fase se realiza sobre el terreno, en el área donde se ha detectado el problema, verificando los datos recogidos previamente con los trabajadores de esa área.
- Formulación y desarrollo del nuevo modelo: Aquellos elementos que afectan la mejora de algún proceso de la organización tienen que ser abordados con contramedidas. Estas acciones se deben registrar en un plan y debe asignarse el nombre del responsable de hacer que se cumpla. Además; se le realizan modificaciones al proceso de forma tal que tenga un mayor rendimiento.
- Validación del modelo: La validación del modelo se realiza calculando el número de réplicas necesarias para que los datos sean consistentes; además se realiza la prueba de bondad de ajuste a los datos obtenidos, probando que éstos siguen a una distribución normal.

3. Resultados

Para el desarrollo de la metodología se escogió un ejemplo resuelto en el cual se realiza la producción de paquetes de caramelos, a partir del cual se obtuvieron los datos necesarios para la simulación del modelo. [¡Aprende YA!, 2020].

En una fábrica se producen paquetes de dulces. A una fila de entrada arriban 3 unidades de 3 tipos diferentes de dulces cada minuto en las siguientes proporciones porcentuales 35% del tipo 1, 25% del tipo 2 y 40% del tipo 3.

Luego los caramelos del tipo 1 se trasladan hacia un área de inspección 1, los del tipo 2 a un área de inspección 2 y los del tipo 3 a un área de inspección número 3. En cada área de inspección debe de cumplirse lo siguiente: para el área número uno el 85% de dulces se considera en buen estado y continúa hacia la fila de empaquetado, el porcentaje restante se considera en mal estado y se dirige un área

de desecho, luego uno de cada cuatro caramelos se dirige a un área de muestreo, para el área número 2 el 90% de dulce se consideran en buen estado y continúa hacia la fila de empaquetado, el porcentaje restante se considera en mal estado se dirige a un área de desecho, 1 de cada 4 caramelos se dirige a un área de muestreo; para el área número 3 el 75% de dulces se considera en buen estado y continúa hacia la fila empaquetado, el porcentaje restante se considera en mal estado y se dirige a un área de desecho, 1 de cada 4 caramelos se dirige a un área de muestreo. En la fila de empaquetado los dulces independientemente del tipo al que pertenezcan son trasladados a un área de empaquetado y se empaquetan de 6 en 6. Esta operación de empaquetar tarda 2 minutos en promedio con una desviación estándar de 0.3 minutos y es realizada por un operador. Éste último transporta el paquete a la zona de carga para luego regresar a sus respectivas locaciones. En la banda de tarimas llega una tarima cada 15 minutos (sólo se cuenta con 3 tarimas). Desde esta banda la tarima se dirige a la zona de carga donde se equipa con 3 paquetes de caramelos. Esta operación de equipar la realiza otro operario y tarda un tiempo con distribución uniforme de 1.8 minutos \pm 0.4 minutos. Luego la tarima repleta se dirige a una banda de inspección. Desde allí la tarima llega o bien a un área de inspección final 1 con tiempo distribuido de forma uniforme U (17, 4.9) min o a un área de inspección 2 con tiempo distribuido de forma exponencial E (13) min. En estas locaciones la tarima descarga los paquetes de caramelos y es llevada por un operario a la banda de tarimas para ser reutilizada. Finalizada la inspección los paquetes salen del sistema.

Aquellos dulces que se encuentren en el área de muestreo son empaquetados de 3 en 3 y se dirigen a una fila de empaquetado para muestras. Tener en cuenta que desde una fila de cajas arriba en cajas vacías cada 15 minutos con destino al área de empaquetado para muestras en donde se descarga 2 paquetes de caramelos muestra y luego la caja es sellada entonces vamos a tener nuevo arribo las cajas vacías van a arribar a una fila de cajas luego estas se trasladan al área de empaquetado para muestras claro está y allí se van a unir con 2 paquetes de caramelos muestra (la caja es sellada). Esta operación es realizada por un operario el cual luego transporta la caja llena al almacén de muestras.

Los operarios trabajan de lunes a viernes desde las 8:00 am hasta las 5:00 pm y tienen una hora para almorzar que inicia al mediodía. Las filas y bandas transportadoras tienen una longitud de 20 pies. La longitud de las bandas y los operarios es de 15 ppm. Además; considere un tiempo de desplazamiento entre estaciones igual a 1 min cuando el operario no se encarga de trasladar a alguna entidad.

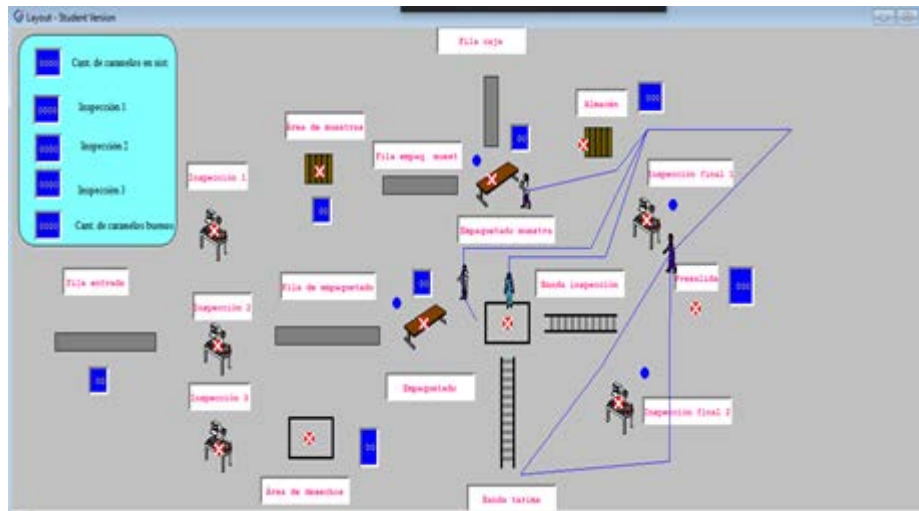
El principal objetivo es Incrementar la productividad del sistema, reduciendo los tiempos ociosos de las principales locaciones y operarios. Para un caso real se debe realizar una reunión por parte de la dirección de la organización, donde se cree un equipo multidisciplinario que lleve a cabo la identificación, tratamiento y eliminación del problema.

Se elaboró el modelo de simulación empleando el programa ProModel, sobre una base experimental. Teniendo en cuenta las posibilidades que nos brinda este software, se diseñó el layout de la línea de producción A partir del problema planteado, se procede a la elaboración del layout (Figura 1), el cual cuenta con las siguientes características:

➤ Locaciones:

- Fila entrada
- Inspección 1
- Inspección 2
- Inspección 3
- Fila de empaquetado
- Área de muestras
- Área de desechos
- Empaquetado
- Zona de carga
- Banda tarima
- Banda inspección
- Inspección final 1
- Inspección final 2

- Pre-salida
- Fila empaque muestra
- Empaquetado muestra
- Fila caja
- Almacén



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Layout del sistema.

➤ Entidades:

- Caramelo tipo
- Paquete 6u
- Paquete 3u
- Tarima vacía
- Tarima llena
- Caja vacía
- Caja llena

➤ Recursos:

- Operario 1
- Operario 2
- Operario 3
- Operario 4

Una vez definido las locaciones, entidades y recursos, se construyó el proceso de simulación, definiendo las variables del sistema, las redes de ruta, se estableció el horario de trabajo para los recursos y se corrió el modelo para un día de trabajo con 6 réplicas y posterior a ello con apoyo de la herramienta Stat fit, se definió el número de réplicas con la que debería correrse el modelo para que los datos sean fiables obteniendo un total de 27 réplicas. Se obtienen como resultados (Tabla 1), que salen como promedio del sistema 936 caramelos, así como un total de 86 paquetes de 6, 72 paquetes de 3 y son desechados un total de 126 caramelos.

Se detecta que las locaciones pasan la mayoría del tiempo inactivas y no se detectan cuellos de botella, por lo que, una vez terminada la simulación, el trabajo en proceso en la mayoría de ellas es mínimo como se muestra en la tabla 2, además en la tabla 3 se muestra el por ciento de utilización de los operarios, siendo los operarios 2 y 4 los de menor porcentaje de utilización.

Tabla 1 Salidas promedio de las entidades.

Nombre	Total de salidas
Caramelo tipo	936.26
Paquete 6u	86.78
paquete 3u	72.00
Caja llena	36.00

Tabla 2 Resultados de las locaciones.

Nombre	Capacidad	% Utilización
Fila entrada	999.99	0.03
Inspección 1	1.00	2.28
Inspección 2	1.00	1.69
Inspección 3	1.00	2.48
Empaquetado	6.00	73.57
Zona de carga	1.00	91.43
Banda tarima	999.99	24.08
Banda inspección	999.99	4.61
Inspección final 1	1.00	63.44
Inspección final 2	1.00	54.76

Tabla 3 Porcentaje de utilización de los operarios.

Nombre	% Utilización
Operario 1	37.76
Operario 2	59.43
Operario 3	89.90
Operario 4	23.37

Una vez analizados los resultados anteriores se debe ir a las áreas que reportan problema y verificar que los datos obtenidos se correspondan con los reales (gembutsu gemba), pero al ser éste un ejercicio elaborado, se pasa a trazar las estrategias que permitan eliminar todas las actividades que no agregan valor al producto como: los tiempos de espera de las locaciones y de inactividad de los recursos. Logrando incrementar la productividad del proceso; así como mejorar el flujo continuo. Para ello se identifican los desperdicios o mudas están asociados a los desperdicios de tiempo dado que los operarios y las locaciones pasan la mayor parte del tiempo inactivas.

Uno de los beneficios de la filosofía kaizen es la mejora continua de los procesos mediante la planificación y desarrollo de acciones que permitan la mejora del proceso. Estas mejoras pueden estar en constante funcionamiento a medida que surjan factores que afecten el desarrollo del proceso, por lo que para incrementar la productividad es necesario tomar las siguientes medidas, figura 2:

- Aumentar en 5 los arribos de los caramelos.
- Incrementar en 2 la capacidad de las inspecciones 1, 2 y 3.
- Incrementar en 2 el área de empaque.
- Incrementar en 5 los arribos de tarimas vacías.

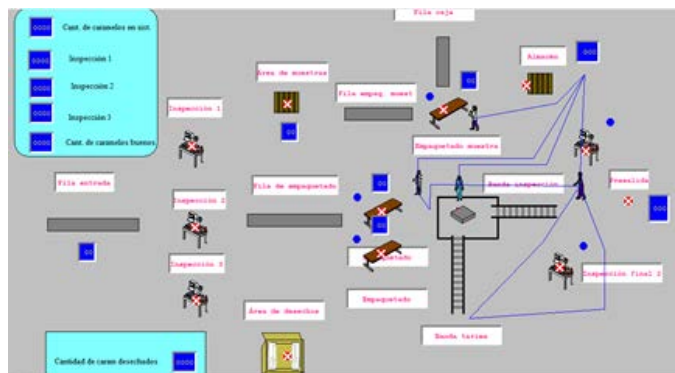


Figura 2 Layout del sistema. Fuente: Elaboración propia

Con estas mejoras al sistema, se consigue una mayor salida de caramelos y se disminuye los tiempos ociosos incrementando el porcentaje de utilización de los equipos y de los operarios como se muestran en las tablas 4 a 6.

Tabla 4 Locaciones.

Nombre	Capacidad	% Utilización
Fila entrada	999999	0.04
Inspección 1	2.00	3.82
Inspección 2	2.00	3.09
Inspección 3	2.00	6.28
Empaquetado.1	6.00	88.26
Empaquetado.2	6.00	87.89
Empaquetado	12.00	88.07
Banda tarima	999999	20.59
Banda inspección	999999	26.17
Inspección final 2	1.00	85.56
Inspección final 1	1.00	74.73

Tabla 5 Entidades.

Nombre	Total de Salidas
Caramelo tipo	1443.00
Paquete 6u	101.00
Paquete 3u	72.00
Caja llena	36.00

Tabla 6 Recursos.

Nombre	% Utilización
Operario 1	21.02
Operario 2	97.89
Operario 3	74.75
Operario 4	24.21

Es necesario realizar la validación del modelo para lo cual se utiliza la herramienta de Stat fit y se calcula el número de corridas, obteniendo como resultado un total de 70 corridas. Una vez realizadas las corridas se seleccionaron varias variables y las salidas de las entidades a las que se les realizó una prueba de bondad de ajuste con un 95% de confianza, para comprobar que los resultados obtenidos siguen una distribución normal, mediante el uso del software Minitab (Figura 3). Como ejemplo se escogió a la variable “cantidad de caramelos en el sistema”, obteniendo los siguientes resultados:

- H_0 : Los datos siguen una distribución normal
- H_1 : Los datos no siguen una distribución normal
- $p\text{-value} = 0.115$
- $\alpha = 0.05$
- $p\text{-value}$ no es menor que alfa por lo que se puede decir que no se rechaza H_0 y los datos siguen una distribución normal.

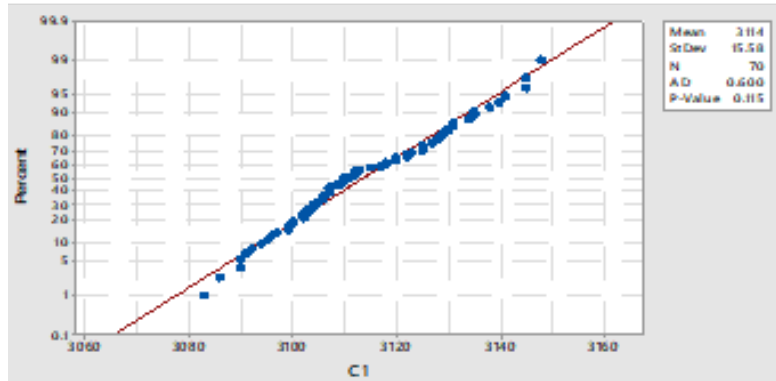


Figura 3 Prueba de normalidad.

4. Discusión

Con los datos ofrecidos en el ejemplo se realiza el diseño del layout dándole valor a las locaciones, entidades, recursos. Se realiza una simulación para ver el comportamiento del sistema y se calcula el número de réplicas necesarias para que los valores obtenidos sean confiables. Posterior a esto, se identifican todas aquellas actividades que no agregan valor al proceso catalogándolas como mudas o desperdicios. Teniendo en cuenta esto se diseñaron estrategias de mejora continua, donde se pudieran eliminar o disminuir los tiempos ociosos o de inactividad de las locaciones y los recursos obteniendo como resultado una mayor salida de productos del sistema; para lo cual, se rediseñó el layout y se volvió a calcular el número de réplicas necesarias. A los resultados obtenidos se les realizó una prueba de bondad de ajuste con el objetivo de determinar si estos datos están distribuidos normalmente.

5. Conclusiones

La simulación es una de las herramientas de la industria 4.0 que vinculada a la filosofía kaizen, permite conocer el comportamiento de un proceso y realizar los ajustes necesarios minimizando los costos en el empleo de recursos, contribuyendo a la mejora continua de los procesos. Para el desarrollo de este trabajo se realizó la simulación de un ejercicio en el cual se describe el proceso de producción de caramelos, empleándose el software ProModel. Para la obtención de los resultados se realizaron múltiples réplicas de la simulación, detectando los elementos que

afectan al flujo productivo provocando desperdicios de tiempo para lo cual se trazaron estrategias, que contribuyeron a la mejora continua del proceso, logrando un incremento de los productos finales y la reducción de los tiempos de espera y de inactividad de las locaciones y los operarios.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] ¡Aprende YA! (6 de Agosto de 2020). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=MVU5SN7zSnw>.
- [2] Alvarez, A. (23 de Septiembre de 2020). Lean Construcción México. Obtenido de <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/qu%C3%A9-es-y-en-qu%C3%A9-consiste-la-filosofía-kaizen-pasos-y-ejemplos>.
- [3] Arango, M. D., Campuzano, L. F., & Zapata, J. A. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 221-233.
- [4] Cantú, J. R., Guardado, M., & Balderas, J. L. (2016). Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*.
- [5] Gubert, X. A. (2019). La industria 4.0, el nuevo motor de la innovación industrial. *Dirección y organización*, 99-110.
- [6] Huerta, M. G. (2015). Aprendiendo Lean Manufacturing mediante la simulación.
- [7] Martínez, M. G. (29-30 de Julio de 2015). Aprendiendo Lean Manufacturing mediante la simulación. Recuperado el 21 de Abril de 2022
- [8] S/A. (21 de Enero de 2019). APD. Obtenido de <https://www.apd.es/filosofía-kaizen/>.
- [9] Sukhodolov , Y. (2019). The notion, essence, and peculiarities of industry 4.0 as a sphere of industry. En *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century* (págs. 3-10). Springer.
- [10] Tigre, F. G., Carrillo, S. L., Tubón, E. E., Sánchez, C. H., Rosero, C. A., & Manobanda, A. D. (2018). Balanceo de la Línea de Ensamble de M4 de Great Wall. *Ciencia Digital*, 289-305.