

Los MOF: materiales a la medida
para hacer frente a los desafíos
del siglo xxi

La simplicidad
en la ciencia:
de Newton
a SpaceX

La biotecnología detrás
de la nanotecnología
dermatológica

Cuando la ingeniería trasciende las aulas • Las plantas: fábricas químicas de metabolitos secundarios • ¿Y si tu maquillaje pudiera adaptarse a ti? • Scooters: 100 años de un vehículo a gran velocidad • Con sangre, sudor y lágrimas • El héroe que todos ocupamos alguna vez • El estado del arte de la computación cuántica y el impacto en la encriptación moderna • Endometriosis: La lucha contra el sufrimiento femenino • La IA más allá de tus tareas



LA SIMPLICIDAD EN LA CIENCIA: DE NEWTON A SPACEX

FRANCISCO JAVIER TREJO GARCÍA

Doctor en Ingeniería Industrial

Universidad Anáhuac México. Facultad de Ingeniería

francisco_trejo@anahuac.mx

*“Es sencillo hacer que las cosas sean complicadas,
pero difícil hacer que sean sencillas.”
Friedrich Nietzsche*

¿Por qué las ideas simples pueden producir resultados extraordinarios?

En la cultura actual existe la percepción de asociar el progreso científico con sistemas cada vez más complejos y algoritmos más sofisticados, asimismo se tiene la percepción de que el análisis de grandes cantidades de datos genera automáticamente mejores decisiones. En muchos sentidos, esta percepción es correcta: la ciencia moderna opera sobre fenómenos que requieren modelos matemáticos avanzados, instrumentos más precisos y sistemas altamente especializados. Sin embargo, existe una paradoja fundamental en la historia de la ciencia: los mayores avances no siempre han surgido de teorías complejas, sino por el contrario de marcos conceptuales más simples. Los avances científicos, en muchos casos, no consisten en acumular explicaciones, sino en reducir la complejidad aparente del mundo a unos pocos principios prácticos y accesibles.

Esta idea puede observarse con claridad si recordamos la física clásica de Isaac Newton, y hacemos una analogía con ejemplos contemporáneos de ingeniería avanzada, como el sistema de acoplamiento automático de la cápsula Dragon de SpaceX con la Estación Espacial Internacional (ISS) (Matthews *et al.*, 2020). Aunque a primera vista se trata de contextos muy distintos —uno filosófico-matemático del siglo XVII y otro tecnológico-

aeroespacial del siglo XXI—, ambos comparten una misma enseñanza: *un sistema no debe ser más complejo de lo estrictamente necesario y su funcionamiento debe explicarse de la manera más simple posible.*

La simplicidad no es superficialidad: es complejidad bien resuelta

A menudo se confunde lo simple con lo superficial. Sin embargo, en ciencia, la simplicidad representa una profunda reflexión y análisis; es el resultado de un trabajo intelectual capaz de distinguir lo esencial de lo innecesario. Newton comprendió esto de manera extraordinaria. Su famoso rechazo a “fingir hipótesis” (*hypotheses non fingo*) no debe entenderse como una renuncia a pensar, sino como un acto de disciplina metodológica: no añadir entidades o mecanismos cuando los fenómenos pueden ser explicados mediante relaciones matemáticas suficientemente sólidas, pero a la vez simples (Guicciardini, 2009). Esto, en un mundo cada vez más complejo, que requiere de la toma de decisiones más rápidas y efectivas, es mucho más valioso.

Lo *simplista* elimina matices de manera arbitraria; lo *simple*, en cambio, surge después de comprender la estructura de un problema a un nivel muy profundo. En los *Principia*, Isaac Newton buscó encontrar el menor número de principios capaces de dar cuenta del mayor número de fenómenos posible. Esa aspiración



sigue siendo una de las bases de la buena ciencia y de la buena ingeniería.

Del determinismo clásico al caos: cuando la simplicidad genera imprevisibilidad

Por otro lado, la teoría del caos mostró que el determinismo no implica necesariamente predictibilidad perfecta. Sistemas descritos por ecuaciones relativamente sencillas pueden presentar una dependencia sensible a las condiciones iniciales, fenómeno popularizado por Edward Lorenz como el “efecto mariposa”.

En términos matemáticos, esto significa que, a partir de diferencias extremadamente pequeñas en las condiciones iniciales, los efectos resultantes pueden crecer exponencialmente con el tiempo y producir resultados completamente distintos, como lo explica la ecuación $\delta(t) \approx \delta_0 e^{\lambda t}$, propuesta por Edward Lorenz (Strogatz, 2024).

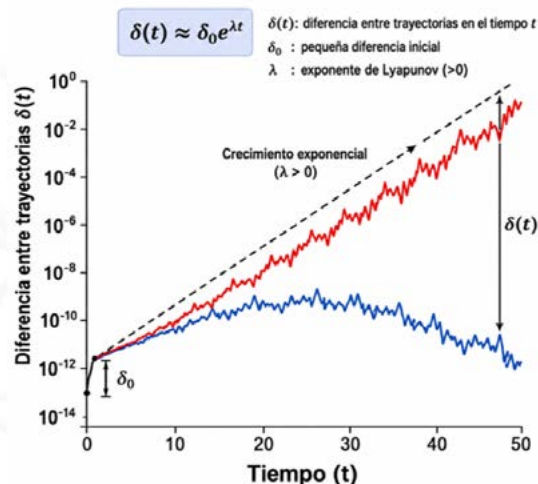
Te doy un ejemplo, imagina dos barcos saliendo de un puerto con una diferencia inicial de apenas 50 metros en su posición. Si ambos navegaran en un océano perfectamente en calma, seguirán casi uno al lado del otro. Pero si el océano representa un sistema caótico, esa diferencia de 50 metros puede transformarse con el tiempo en cientos de metros de separación y dirección.

En esta relación, una pequeña incertidumbre inicial δ_0 puede amplificarse rápidamente cuando en la ecuación de Lorenz, el exponente de Lyapunov λ es positivo, haciendo que el sistema se vuelva impredecible a largo plazo.

Esto también se manifiesta cuando los modelos predictivos son forzados excesivamente en ajustarse y, al hacer uso de datos históricos, pues estos pueden perder su capacidad predictiva a través del tiempo e insertar patrones falsos o sobreestimar la influencia de valores extremos (*outliers*).

Efecto mariposa: pequeñas diferencias, grandes consecuencias

En sistemas caóticos, diferencias extremadamente pequeñas en las condiciones iniciales crecen exponencialmente con el tiempo.



Representación artística de un atractor caótico asociado a sistemas dinámicos no lineales.

Fuente: Imagen generada mediante inteligencia artificial.

Aunque las ecuaciones que describen el comportamiento de un sistema sean conocidas, nunca es realmente posible medir las condiciones iniciales con precisión perfecta. Toda medición física contiene inevitablemente errores, ruido instrumental o incertidumbre observacional inducida por el usuario. Debido a ello, incluso en sistemas completamente deterministas, la capacidad predictiva tiene horizontes limitados (Prigogine & Stengers, 2018). El caos mostró así que la predicción absoluta es físicamente imposible en numerosos sistemas dinámicos complejos.



Representación artística de un efecto caótico asociado a sistemas dinámicos no lineales.

Fuente: Fotocommunity (s. f.).



Conjuntos de pronósticos y límites predictivos

Precisamente, ante esta sensibilidad extrema, disciplinas como la meteorología, la economía, la logística o la cadena de suministros (Trejo y Torres-Escobar, 2026) o incluso la dinámica orbital utilizan conjuntos o rangos de pronósticos (*ensemble forecasting*). En lugar de generar una sola predicción, se ejecutan múltiples simulaciones con pequeñas variaciones en las condiciones iniciales para explorar distintos futuros posibles (Palmer, 2022). El objetivo no es eliminar la incertidumbre sino cuantificarla y comprender cómo evoluciona el rango de escenarios posibles, y con ello preparar el sistema o al usuario de este ante estos escenarios para ser capaz de tomar la mejor decisión, en el menor tiempo y con la mayor precisión posible.

Esta conclusión tiene implicaciones filosóficas profundas. El caos no solamente limita lo que podemos saber del futuro; también pone límites a lo que podemos reconstruir con exactitud del pasado. Cuando los sistemas son altamente sensibles y las mediciones imperfectas, pequeñas incertidumbres históricas pueden impedir la reconstrucción precisa de los comportamientos anteriores. Así, la teoría del caos introdujo una visión más modesta del conocimiento científico: la ciencia puede descubrir leyes poderosas y estructuras profundas, pero existen fronteras inherentes a la predicción y a la reconstrucción exacta de la realidad dinámica (Hayles, 1990).

Asimismo, la teoría del caos también reveló otro hecho fundamental: existe un punto temporal a partir del cual los pronósticos dejan de ser significativamente mejores que una simple suposición estadística. Lorenz mostró que, más allá de ciertos horizontes temporales, la amplificación de errores iniciales destruye la utilidad práctica de la predicción detallada. Por ello, en muchos sistemas caóticos, la incertidumbre crece hasta el punto en que el comportamiento futuro solo puede describirse probabilísticamente.

Así, la teoría de los sistemas grises (Deng, 1982), la lógica difusa (Zadeh, 1965), los conjuntos aproximados (Pawlak, 1982) y las cade-

nas de Markov (Norris, 1997) son algunas de las corrientes matemáticas que han sido utilizadas para responder a esta incertidumbre.

Las buenas predicciones surgen de: aceptar la incertidumbre, actualizar las creencias y conocimientos constantemente, trabajar con probabilidades o rangos de estimaciones y distinguir la información que es relevante del ruido estadístico o aleatorio, de tal manera que puede ser más útil y efectivo para la toma de decisiones.

¿Cómo podemos entonces lidiar con la incertidumbre, desarrollar sistemas confiables y hacer nuevos descubrimientos?

Una alternativa es considerar que la sensación de simplicidad no se traduzca en que un sistema se convierta en trivial, sino que la complejidad sea absorbida, organizada o eliminada por el diseño.

Aquí aparece una conexión profunda entre Newton, la teoría del caos y la ingeniería moderna: la excelencia científica y tecnológica consiste en hacer que lo complejo funcione con simplicidad operativa, reconociendo que algunos sistemas poseen límites inherentes de predictibilidad. En otras palabras, la verdadera sofisticación no se exhibe como una dificultad visible, sino como simplificación, estabilidad y confiabilidad. *Un sistema realmente avanzado no es aquel que exige un alto nivel de sofisticación para operar, sino aquel que vuelve algo complicado en repetible y confiable.*

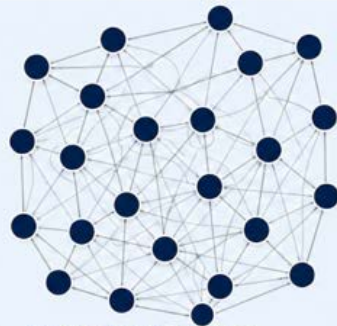
Esta idea tiene implicaciones profundas en la ciencia y la ingeniería. En múltiples áreas de la administración, logística, ciencia de datos o diseño organizacional, con frecuencia se asume erróneamente que una solución más sofisticada es automáticamente más efectiva. Sin embargo, la historia de la ciencia sugiere lo contrario: muchas veces la solución superior es la que elimina pasos innecesarios y permite explicar o ejecutar con mayor precisión con menos estructura presente.

Considera el siguiente ejemplo: existe un sistema compuesto por cuatro mecanismos que



ENFOCAR Y SIMPLIFICAR PARA REDUCIR Y GESTIONAR LA COMPLEJIDAD

COMPLEJIDAD



- Segmentos de clientes
- Regiones geográficas
- Mercados
- Productos
- Servicios
- Precios
- Procesos
- Proyectos
- Funciones
- Alianzas
- Infraestructura

ENFOCAR Y SIMPLIFICAR

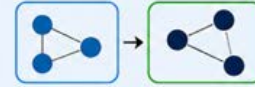
1. ELIMINAR

Eliminar elementos, conexiones o procesos innecesarios.



2. SEGMENTAR

Dividir sistemas complejos en partes manejables.



3. MODULARIZAR

Organizar componentes independientes y reutilizables.



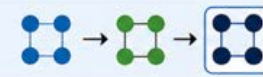
4. ESTANDARIZAR

Reducir variabilidad mediante estructuras comunes.



5. COMBINAR

Integrar funciones o componentes redundantes.



6. REORGANIZAR

Modificar la estructura para mejorar eficiencia y claridad.



7. AUTOMATIZAR

Utilizar sistemas automáticos para reducir complejidad operativa.



Estrategias para reducir y gestionar la complejidad. Fuente: S. A. (s. f.). Adaptado de *Focus & Simplify to Reduce and Manage Complexity*.

interactúan en serie entre sí, cada uno con una confiabilidad individual del 99%. Este sistema en su conjunto, ¿qué confiabilidad total tendría? Piénsalo y realiza tus cálculos..., bueno, la confiabilidad de ese sistema sería de 0.99^4 , o aproximadamente 0.9606. Lo anterior puede resumirse matemáticamente como $\phi(x)=x_1 \cdot x_2 \cdots x_n = \prod_{i=1}^n x_i$, donde $\phi(x)$ es la función estructural del sistema o, simplemente, la estructura, de acuerdo con los principios clásicos de confiabilidad en sistemas en serie (Rausand y Høyland, 2004).

Ahora considera, ¿qué tendrías que hacer para que este sistema mejorara, digamos un 1%? Bueno, tendrías que mejorar por lo menos un 0.25% en cada mecanismo aproximadamente, $0.9925^4 = 0.9703$. Pero ¿de qué otra manera podrías mejorarlo? Una forma en que podrías mejorar la confiabilidad de ese sistema es que, en vez de tener 4 mecanismos, este posea solo 3. Si haces eso, el desempeño de tu sistema puede mejorar en ese mismo 1%,

$0.99^3 = 0.9703$. Aunque esta no es la única forma. ¿Cuál otra se te ocurre...?

En sistemas físicos, de ingeniería, lograr una mejora en la confiabilidad puede ser extremadamente costoso, tanto por el desarrollo de la tecnología, los materiales, las pruebas requeridas, la precisión y exactitud de sus elementos, etc. En muchas ocasiones, no es algo que las empresas o incluso la sociedad en su conjunto puedan hacer por limitaciones económicas, tecnológicas o temporales.

Por lo anterior, te propongo una alternativa: *busca en la medida de lo posible no resolver los problemas: elimínalos y, si no te es posible, redúcelos o, al menos, disminuye sus riesgos*. Este enfoque coincide con principios de diseño y reducción de complejidad funcional, donde eliminar componentes innecesarios puede incrementar la robustez global del sistema y elegir la alternativa que posea el menor contenido de información (Suh, 2001).



Conclusión

La lección que une a Newton, la teoría del caos y la ingeniería contemporánea es clara: la ciencia más poderosa no siempre es la más sofisticada, sino la que logra organizar lo complejo bajo principios simples, claros y robustos.

En los *Principia*, Newton mostró que unos pocos principios podían explicar una enorme diversidad de fenómenos naturales. La teoría del caos reveló posteriormente que incluso esas leyes simples podían generar comportamientos impredecibles debido a la sensibilidad a las condiciones iniciales. Finalmente, en tecnologías como Dragon X, vemos que sistemas muy complejos pueden diseñarse de modo que operen con una simplicidad funcional sorprendente. En todos los casos, la simplicidad no significa reducción ingenua, sino dominio intelectual y un análisis técnico de la complejidad. En muchos casos, esto requiere por supuesto con romper paradigmas científicos, y personales.

Por ello, quizá una de las mejores definiciones de progreso científico no sea “hacer teorías más complejas” o “construir sistemas más difíciles de desarrollar”, sino encontrar formas más simples de comprender, predecir y actuar sobre el mundo, aun reconociendo que existen límites inevitables a lo que puede conocerse con exactitud, que la realidad es rara vez determinista y que los datos nuevos deben al menos cuestionar nuestras creencias. Cuando eso ocurre, la ciencia no solo avanza: también se vuelve más útil y, en cierto sentido, más bella y elegante.

Algunas respuestas requieren paciencia y perseverancia.

Referencias

Deng, J. (1982). Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*, 1(5), 288-294. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016769118280025X?via%3Dihub>

Fotocommunity (s. f.). Starting a pool game stock photo. Obtenido de Fotocommunity (s. f.). Starting a pool game stock photo. Obtenido de <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=pJbq19uU&id=2C442282EE02C65FB42C4295499F74DC7279C4E0&thid=OIP.pJbq19uUQenEIDh>

KN58n3gHaFj&mediaurl=https%3A%2F%2Fimg.fotocommunity.com%2Fpool2-2a3672f5-d5ed-412c-b288-0c50521b6666.jpg%3Fwidth%3D1000&exp

Guicciardini, N. (2009). *Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. <https://chooser.crossref.org/?doi=10.7551%2Fmitpress%2F9780262013178.001.0001>

Hayles, N. (1990). *Chaos Bound. Orderly disorder in contemporary literature and science*. Londres: Cornell University Press.

Matthews, J., Driscoll, C., Fouad, E., Welter, A., Jarmulowicz, M., e Ipnar, J. (2020). Design, Development, Testing, and Flight of the Crew Dragon Docking System. (N. J. Center, Ed.) *Proceedings of the 45th Aerospace Mechanisms Symposium*, 484-503. Recuperado el 27 de junio de 2026, de <https://esmat.eu/amspapers/pastpapers/pdfs/2020/matthews.pdf>

Norris, J. (1997). *Markov Chains*. Nueva York: Cambridge University Press.

Palmer, T. (2022). *The primacy of doubt from Quantum Physics to Climate Change. How the science of uncertainty can help us to understand our chaotic world*. Nueva York: Basic Books.

Pawlak, Z. (1982). Rough sets. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 11(5), 341-356. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01001956>

Prigogine, I., y Stengers, I. (2018). *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature (Radical Thinkers)*. Nueva York: Verso Books.

Rausand, M., y Høyland, A. (2004). *System Reliability Theory. Models, Statistical Methods, and Applications*. Nueva Jersey: John Wiley.

S. A. (s. f.). Complexity Reduction: To Realize a Strategy, You First Need to Reduce Complexity. *Stratechi*. Recuperado el 27 de 06 de 2026, de <https://www.stratechi.com/complexity-reduction>

Strogatz, S. (2024). *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Chapman and Hall/CRC. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=g9SNEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=Nonlinear+Dynamics+and+Chaos.+&ots=62rNCZ6lzd&sig=ljxhk63wf6a8mRfky5ZBSkg1pt4&redir_esc=y#v=onepage&q=Nonlinear%20Dynamics%20and%20Chaos.&f=false

Suh, N. (2001). *Axiomatic Design. Advances and Applications*. Nueva York-Oxford: Oxford University Press.

Trejo, F., y Torres-Escobar, R. (2026). Application of a grey model MCGM (1,1) for demand forecasting in a third-party logistics providers in maquila industry in Mexico. *Grey Systems: Theory and Application*, 16(2), 225-244. <https://www.emerald.com/gs/article-abstract/16/2/225/1331230/Application-of-a-grey-model-MCGM-1-1-for-demand>

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00199586590241X?via%3Dihub>