

ERRORES EN LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL: UN ENFOQUE DESDE LAS NEUROCIENCIAS

Bertolo, Leonardo Martin

lbertolom@gmail.com

Palabras clave: atención, memoria, sesgos cognitivos, error.

RESUMEN

El presente trabajo analiza algunas causas que originan errores en la ingeniería estructural integrando conceptos de neurociencias para comprender cómo los procesos cognitivos influyen en la mente del ingeniero. Se expone la importancia de la atención como un recurso limitado y cómo factores como la multitarea, la fatiga y las interrupciones incrementan la probabilidad de omisiones y fallas. Asimismo, se abordan los principales sesgos cognitivos que afectan el juicio ingenieril -exceso de confianza, anclaje y atajos mentales bajo presión- y su impacto en la toma de decisiones del proyectista.

Se aborda el uso de la IA como herramienta de simplificación en los procesos de diseño, y se destaca el valor del aprendizaje a partir del error y la importancia de la tutoría y la revisión cruzada como mecanismos para reducir riesgos.

Finalmente, se presentan estrategias basadas en evidencia neurocientífica para minimizar errores: uso de checklists, períodos de foco profundo, gestión de la fatiga, etc. El trabajo propone consolidar una cultura profesional que priorice la revisión consciente y combata los sesgos naturales del cerebro para mejorar la seguridad y confiabilidad de las estructuras.

ABSTRACT

The present work analyzes some causes that lead to errors in structural engineering, integrating concepts from neuroscience to understand how cognitive processes influence the engineer's mind. It highlights the importance of attention as a limited resource and how factors such as multitasking, fatigue, and interruptions increase the likelihood of omissions and failures. Likewise, it addresses the main cognitive biases that affect engineering judgment -overconfidence, anchoring, and mental shortcuts under pressure- and their impact on the designer's decision-making.

The use of AI as a simplification tool is also discussed, and the value of learning from mistakes as well as the importance of mentoring and cross-review are emphasized as mechanisms to reduce risks.

Finally, strategies based on neuroscientific evidence are presented to minimize errors: use of checklists, periods of deep focus, fatigue management, etc. The work proposes consolidating a professional culture that prioritizes conscious review and combats the brain's natural biases to improve structural safety and reliability.

Organiza:

TRABAJO COMPLETO

En ingeniería estructural, un decimal puede separar el costo óptimo del riesgo inaceptable. Hoy no vengo a mostrar lo perfecto: vengo a resignificar los errores y a explicar por qué ocurren tomando algunos conceptos basados en neurociencias. La idea es que nos llevemos herramientas concretas para equivocarnos menos y aprender mejor.

CONECTANDO LA TÉCNICA CON EL FACTOR HUMANO

Antes de entrar en lo técnico, vale recordar algo humano: los errores en la práctica profesional rara vez tienen su origen exclusivo en la falta de conocimiento.

Con frecuencia emergen de algo más invisible y difícil de intervenir: la forma en que el cerebro humano procesa la información, toma decisiones y construye hábitos bajo condiciones reales de trabajo.

Algunos conceptos clave que corresponde destacar y en los que vamos a reparar en el presente artículo son los siguientes:

- El Modelo Dual ⁽¹⁾ (Sistema 1 y Sistema 2), que describe la arquitectura del procesamiento cognitivo y explica por qué el cerebro comete ciertos errores de manera predecible.
- La Neuro Plasticidad.
- Estrategias Prácticas Basadas en Neurociencias.

EL MODELO DUAL DE PROCESAMIENTO COGNITIVO

Sistema 1: Rápido, Automático, Incansable:

El Sistema 1 opera de manera rápida, automática e involuntaria. No requiere esfuerzo consciente: reconoce patrones almacenados en la memoria y genera respuestas inmediatas a partir de asociaciones.

Este sistema es el responsable de aproximadamente el 95% de las decisiones cotidianas. Su ventaja adaptativa es enorme: permite actuar con rapidez y bajo costo energético en situaciones familiares. Su limitación es igualmente significativa: opera sobre la base de lo que parece correcto según la experiencia acumulada, no sobre lo que es correcto tras una verificación deliberada.

Sistema 2: Deliberado, Preciso y Costoso:

El Sistema 2 es lento, consciente y esforzado. Es el responsable del razonamiento analítico, la verificación lógica, el cálculo y la toma de decisiones.

El Sistema 2 tiene un costo metabólico elevado: consume glucosa cerebral de forma significativa durante su activación. Esto tiene una consecuencia directa y predecible: bajo condiciones de fatiga, presión temporal, sobrecarga de información o multitasking, el Sistema 2 se degrada primero → El cerebro transfiere progresivamente el control al Sistema 1 como mecanismo de conservación de recursos (agotamiento cognitivo).

LA MEMORIA DE TRABAJO Y LAS LIMITACIONES DE LA ATENCIÓN: EL CUELLO DE BOTELLA DEL SISTEMA 2

La memoria de trabajo es la que mantiene activa la información en tiempo real, y es el soporte operativo del Sistema 2. Las investigaciones ⁽²⁾ demostraron que su capacidad es limitada a 4 ± 1 ítems simultáneos en condiciones óptimas.

A menudo se nos elogia por hacer malabarismos con múltiples tareas (multitasking). Esto se ha vuelto algo común, sin embargo, nuestro cerebro no está equipado para realizar eficazmente múltiples actividades simultáneas. Hacer varias cosas a la vez no significa ser más productivo, sino todo lo contrario. La memoria de trabajo soporta pocos elementos simultáneamente. Sobrecargarla con normas, planillas y coordinaciones simultáneas fomenta simplificaciones peligrosas y atajos en el razonamiento técnico.

Cuando un profesional trabaja simultáneamente con múltiples fuentes de información, coordinaciones paralelas y presión por plazos, la memoria de trabajo se satura. El resultado es que las verificaciones se vuelven superficiales y la probabilidad de omisiones aumenta de forma directamente proporcional a la carga cognitiva ⁽³⁾.

La atención es un recurso finito. Los estudios han demostrado que el lapso atencional suele ser de 40 minutos, pero conseguir eso se ha vuelto todo un desafío en un mundo donde se valora la rapidez y la multitarea mientras nos encontramos constantemente bombardeados por estímulos y distracciones que compiten por nuestra atención, no sólo en nuestros teléfonos con las notificaciones o en la PC con mil pestañas abiertas.

El córtex prefrontal - sede del Sistema 2 - requiere períodos de reposo para recuperar su eficiencia funcional ⁽⁴⁾. Sin esas pausas, la degradación del juicio técnico es predecible, progresiva y acumulativa a lo largo de la jornada. Cada interrupción que recibimos fragmenta nuestra atención y con ello, nuestra memoria, por lo que enforcarnos en una tarea a la vez mejora nuestra eficiencia.

SESGOS COGNITIVOS QUE IMPACTAN EN LAS DECISIONES TÉCNICAS

Un sesgo cognitivo es una especie de “atajo mental” que usa nuestro cerebro para tomar decisiones más rápido en lugar de analizar todo con lógica completa, lo que puede llevar a errores. El modelo dual proporciona un mecanismo explicativo unificado para describir el origen de los errores en el trabajo técnico del ingeniero:

- Exceso de Confianza:

Ocurre cuando el Sistema 1 reconoce una situación como familiar y cierra el análisis antes de que el Sistema 2 la verifique. El patrón activa la respuesta: el análisis se acepta como válido sin revisión deliberada. Esto da origen a la llamada Paradoja del Experto, que explica cómo ciertos errores son estadísticamente más probables en profesionales de mayor trayectoria que en quienes recién comienzan, no por descuido sino precisamente por automatización.

El llamado Metamodelo del Lenguaje (Programación Neurolingüística) ⁽⁵⁾ identifica que los patrones lingüísticos que una persona utiliza revelan el nivel de rigor del procesamiento cognitivo que está ocurriendo, y, por tanto, cuándo el Sistema 1 está

operando sin verificación del Sistema 2. Así, expresiones como "debería dar bien", "parece coherente" o "siempre funciona así" son patrones lingüísticos que señalizan procesamiento vago: el cerebro procesó la situación con el patrón general, no con los datos específicos del caso.

En ocasiones, cometemos el error de sobreestimar nuestra habilidad o subestimar la incertidumbre, lo que conduce a aceptar, por ejemplo, hipótesis de cargas, características tales de suelos o comportamientos estructurales determinados sin respaldo suficiente, poniendo el riesgo los márgenes de seguridad y quitando certidumbre a la estructura diseñada.

- **Sesgo de Confirmación:**

Es la tendencia del Sistema 1 a aceptar los datos consistentes con el patrón esperado y filtrar los que lo contradicen, porque la consistencia tiene menor costo de procesamiento que el análisis de las inconsistencias.

En ocasiones, sea de forma intuitiva o automática, favorecemos datos que confirman la solución elegida y descartamos señales disonantes (por ejemplo, cuando asumimos que un esfuerzo o una carga da valores que parecen razonables, aunque no lo hayamos chequeado u obtenido adecuadamente), lo que promueve la toma de decisiones defectuosas.

- **Anclaje:**

Refleja la dificultad del Sistema 2 para cuestionar el análisis que el Sistema 1 tomó como referencia, especialmente cuando los cambios son graduales y no activan una señal de alerta suficientemente fuerte como para relanzar el análisis desde cero.

Una situación usual es quedar "anclados" en un dato o valor inicial (por ejemplo, un análisis de cargas) cuando el proyecto sufre modificaciones sutiles en su geometría o uso, de manera tal que no parece justificarse un "recálculo" o revisión de los valores, lo que dificulta mantener el cálculo actualizado y rompe la trazabilidad del diseño.

- **Atajos Cognitivos Bajo Presión:**

Son el resultado directo del traspaso de control al Sistema 1 cuando el Sistema 2 queda sin recursos energéticos o temporales para operar.

Cuando el plazo de entrega es el parámetro dominante en el significado que el profesional asigna a su propio rendimiento, el Sistema 1 recibe una instrucción implícita de priorizar la rapidez sobre la verificación. Lamentablemente, en el mundo actual, la supuesta productividad dada por los softwares, la IA y la tecnología en general han llevado a una indiscriminada subestimación de los plazos destinados a las etapas de Proyecto. Se asume que un ingeniero con una notebook puede hacer en una semana el trabajo que hace 50 años ocupaba a 15 ingenieros durante un mes. Esto incluso quizá sea cierto, pero no justifica someter a los profesionales actuales a cumplir plazos tan exigentes que, precisamente, no dejan espacio para equivocarse. Peor aún, promueven el error por todo lo que venimos comentando.

Por esta razón, los profesionales muchas veces nos vemos obligados a recurrir a reglas simples y análisis superficiales para tomar decisiones, en lugar de aplicar un análisis profundo y exhaustivo. Esto sucede casi inconscientemente porque cuando estamos bajo presión por plazos ajustados, el cerebro recurre a reglas rápidas que

pueden ignorar interacciones, efectos de segundo orden, cargas originadas en diferentes etapas constructivas, etc.

▪ **Abuso de Herramientas de Simplificación:**

Se refiere a los atajos mentales que usamos para tomar decisiones rápidas sin analizar toda la información disponible.

El mejor ejemplo de esto es la inteligencia artificial. La IA es un pasante brillante. Trabaja rápido, propone ideas y arma borradores. Pero como todo pasante, requiere supervisión. El error común hoy es usarla de dos formas igualmente de malas:

- Como oráculo (“decime qué hacer”).
- Como laboratorio (“a ver qué sale”).

Y lo seductor de la IA es que nos provee de respuestas en un tiempo tan reducido que destruye cualquier voluntad de hacerlo por nosotros mismos. La IA es potente, pero también es irregular. A veces entrega algo atractivo, aunque conceptualmente flojo. Por eso el mayor riesgo de la IA no es que haga mal el trabajo, sino que nosotros le creamos demasiado rápido porque suena convincente (actuamos desde Sistema 1).

El punto medio productivo es usarla para acelerar pensamiento, no para reemplazarlo. Es decir, que nos ayude a:

- Generar opciones y alternativas.
- Ordenar información.
- Detectar huecos o faltantes.
- Escribir borradores.
- Mejorar claridad.
- Filtrar datos.

Pero la última palabra (y la responsabilidad) siguen siendo nuestras.

No olvidemos que la IA no puede firmar un proyecto, por ende la responsabilidad civil sigue siendo nuestra. Tengamos cuidado de ser nosotros quienes controlamos a la IA y no al revés. El trabajo del ingeniero siempre implica un doble chequeo, no pongamos en riesgo todo nuestro trabajo por una respuesta que, por un Sesgo de Confirmación, asumimos válida y aplicamos en nuestro diseño sin titubear.

ERRORES COMO ESTÍMULO DEL APRENDIZAJE

La neurociencia muestra que el error, cuando es detectado y corregido conscientemente, es uno de los estímulos más potentes para aprender, por dos mecanismos clave:

- **Señal Dopaminérgica de Error de Predicción ⁽⁸⁾:** el cerebro no responde al éxito en sí, sino a la diferencia entre lo esperado y lo obtenido. Cuando el resultado es peor, disminuye la dopamina y se activa la necesidad de corregir el modelo interno. Por eso, la consolidación del aprendizaje mejora cuando detectamos y corregimos errores.

- Re-consolidación de la Memoria ⁽⁹⁾: al activar conscientemente un conocimiento, este se vuelve modificable. Esto permite que, si se detecta y corrige un error, el patrón neuronal original se reescribe con la versión correcta. Así, corregir no solo transmite conocimiento, sino que cambia la estructura neuronal.

NEURO PLASTICIDAD: EL CEREBRO QUE SE RECONFIGURA

Hoy se sabe que el cerebro adulto mantiene una alta capacidad de reorganización a lo largo de la vida, conocida como Neuroplasticidad ⁽⁶⁾, superando la antigua idea de que era una estructura fija.

Este proceso se basa en la regla de que las neuronas que se activan juntas fortalecen sus conexiones. Con la repetición, estas sinapsis se vuelven más rápidas y automáticas a largo plazo generando cambios físicos en el cerebro. Es decir, el aprendizaje deja una huella biológica concreta ⁽⁷⁾.

Los hábitos cognitivos, incluidos los sesgos, son circuitos reforzados por repetición. Cuanto más se usan, más eficientes se vuelven. Por eso, los sesgos no son errores del sistema, sino patrones aprendidos: el cerebro no falla - hace exactamente lo que aprendió a hacer.

ESTRATEGIAS PRÁCTICAS BASADAS EN LA NEUROCIENCIA

Ciertas estrategias de verificación producen mejoras reales y sostenidas en el desempeño profesional. Las siguientes son las de mayor relevancia en contextos de trabajo técnico:

- Checklists:

Usar herramientas de organización personal como Listados de Tareas fuerza la activación del Sistema 2 sobre pasos que el Sistema 1 ejecutaría de forma automática, sin verificación consciente. Mejor aún si los checklists se hacen con escritura manual. El cerebro registra de manera diferente lo que se escribe a mano en comparación con lo que se escribe en un teclado debido a la activación de regiones cerebrales más complejas, lo que promueve un procesamiento más profundo de la información. Con la repetición sostenida, lo que comienza como una herramienta de control termina siendo un hábito de pensamiento.

- Revisión cruzada:

La revisión cruzada es una herramienta clave para reducir errores antes de emitir documentos, pedidos de compra u otros entregables técnicos. Su valor no se limita a la intervención de ingenieros experimentados: también resulta efectiva entre colaboradores, porque permite incorporar una mirada externa, detectar inconsistencias y cuestionar supuestos que el autor del trabajo puede haber naturalizado.

Cuando un colega revisa el trabajo de otro, no solo aporta un par de ojos adicionales, aporta una arquitectura neuronal diferente. El revisor no comparte los circuitos automatizados del autor, por eso su Sistema 2 permanece activo donde el autor ya operaba en piloto automático.

Y esto es independiente de la experiencia o jerarquía (recordar la Paradoja del Experto), de manera que es totalmente útil pedir a un ingeniero junior que examine o revise un trabajo realizado por un ingeniero senior, y viceversa. Si el equipo es chico o es un profesional que trabaja solo en forma independiente, es buena práctica contratar un colega como Abogado del Diablo para la revisión cruzada.

- Intervalos de Trabajo Efectivo:

Promover ventanas de trabajo profundo sin interrupción implementando pausas cognitivas libres de distracciones (períodos de enfoque de 40 minutos). Apagar notificaciones o personalizarlas para que sólo se vean las verdaderamente importantes (por ejemplo, llamado de familiares).

Limitar las reuniones fragmentadas y promover políticas de descanso para proteger la atención y la memoria de trabajo. Por ejemplo: forzar horario para almorzar (aunque no se almuerce).

ERRORES EN LA INGENIERÍA: CAUSA, CONSECUENCIA Y PREVENCIÓN

Veamos a continuación ejemplos de cómo pueden caracterizarse los errores que un ingeniero puede cometer en su vida profesional:

- Olvidar indicar el pretensado de bulones en una conexión.
 - Raíz cognitiva: sobrecarga, atención fragmentada.
 - Impacto: pérdida de capacidad portante, fatiga prematura, pérdida de capacidad portante.
 - Prevención: checklists, intervalos de trabajo efectivo (períodos de enfoque), control cruzado.
- Introducir un dato mal en el software.
 - Raíz cognitiva: sobrecarga, atención fragmentada, automatización excesiva.
 - Impacto: propagación automática del error, diseño inválido con apariencia correcta, decisiones basadas en información corrupta.
 - Prevención: procedimientos, intervalos de trabajo efectivo (períodos de enfoque).
- Diseñar una viga hiperestática suponiendo que será isostática.
 - Raíz cognitiva: exceso de confianza, anclaje, herramientas de simplificación.
 - Impacto: subestimación de esfuerzos internos, fisuración o colapso local, etc.
 - Prevención: revisión cruzada, formación continua, etc.
- No doble chequear información que pudo venir indicada en dos formatos: textual (una nota) y gráfica (un plano).
 - Raíz cognitiva: sesgo de confirmación, atajos cognitivos bajo presión.
 - Impacto: errores invisibles hasta que se detecta la inconsistencia o falla.
 - Prevención: procedimientos, checklists, revisión cruzada.

- Instalar pernos galvanizados en contacto con acero sin protección, generando corrosión galvánica.
 - Raíz cognitiva: exceso de confianza, sesgo de confirmación, anclaje.
 - Impacto: corrosión galvánica, reducción de vida útil, etc.
 - Prevención: revisión cruzada, formación continua.
- No incluir efectos de segundo orden (pandeo) en estructuras esbeltas.
 - Raíz cognitiva: atajos cognitivos bajo presión, anclaje, sesgo de confirmación.
 - Impacto: inestabilidad estructural.
 - Prevención: checklists de verificación estructural, intervalos de trabajo efectivo (períodos de enfoque).
- Agregar refuerzos innecesarios sin justificación técnica, aumentando costos y peso.
 - Raíz cognitiva: simplificación, anclaje.
 - Impacto: ineficiencia, sobrecostos, etc.
 - Prevención: revisión cruzada.
- Adoptar valores de carga sin verificar condiciones reales del proyecto:
 - Raíz cognitiva: sesgo de confirmación, atajos cognitivos bajo presión, anclaje.
 - Impacto: subestimación o sobreestimación de acciones, riesgo estructural latente.
 - Prevención: checklists de verificación estructural, intervalos de trabajo efectivo (períodos de enfoque).
- Usar detalles típicos de anclaje en una zona sísmica sin considerar requisitos especiales.
 - Raíz cognitiva: simplificación, anclaje, atención fragmentada.
 - Impacto: comportamiento frágil, incumplimiento normativo, etc.
 - Prevención: checklists de verificación estructural, procedimientos.

CONCLUSIONES

La neuro plasticidad genera reconfiguración estructural solo cuando existe práctica consciente repetida. Esa práctica requiere una motivación sostenida para activar el Sistema 2 en cada instancia relevante. Y esa motivación es directamente proporcional al significado que el profesional le asigna al acto de revisar, verificar o detenerse.

Un procedimiento de revisión adoptado bajo el marco "esto es burocracia que me ralentiza" generará resistencia y abandono. El mismo procedimiento adoptado bajo el marco "esto es entrenamiento que mejora el resultado de mi trabajo" tiene condiciones para consolidarse como hábito neuronal.

Si pensamos integralmente, validamos los supuestos y adoptamos métodos simples que nos cuiden de nosotros mismos (sesgos, fatiga, apuros), el impacto en los

resultados es enorme.

*“Les propongo una cultura donde frenar
para revisar sea un mérito y no un obstáculo”.*

Colaboradores:

Veronica Franciscutti

- Neuropsico-entrenadora.
- Psicoterapeuta y Especialista en Neurociencias.
- Master Trainer en Neurosemántica.
- Trainer en PNL.
- Maestría en Psicoterapia e Hipnosis Ericksoniana.
- Especialista en Neurociencias Aplicadas a la Educación (UBA).

(veronicafranciscutti.com)

Referencias:

- (1) Psic. Daniel Kahneman - Premio Nobel de Economía 2002 - junto a Amos Tversky, con desarrollo completo en la obra Thinking, Fast and Slow (2011). Este modelo ha sido ampliamente validado por la neurociencia, que identificó sus correlatos neurobiológicos con precisión (Evans, 2008; Stanovich & West, 2000).
- (2) Nelson Cowan (2001).
- (3) Descrito por Sweller (1988) en su Teoría de la Carga Cognitiva.
- (4) Boksem & Tops (2008).
- (5) (Bandler & Grinder, 1975).
- (6) Doidge, 2007; Merzenich, 2013.
- (7) Bliss & Lømo (1973).
- (8) Wolfram Schultz (1998).
- (9) Nader, Schafe & LeDoux (2000).

Bibliografía:

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. Psychology of Learning and Motivation, 8, 47–89.

Bandler, R., & Grinder, J. (1975). The Structure of Magic I. Science and Behavior Books.

Bar, M. (2007). The proactive brain: Using analogies and associations to generate predictions. Trends in Cognitive Sciences, 11(7), 280–289.

Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? Journal of Personality and Social Psychology, 74(5), 1252–1265.

Bliss, T. V. P., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit. Journal of Physiology, 232(2), 331–356.

Organiza:

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity.

Behavioral and Brain Sciences, 24(1), 87–114.

Doidge, N. (2007). The Brain That Changes Itself. Viking Press.

Dweck, C. S. (2006). Mindset: The New Psychology of Success. Random House.

Evans, J. S. B. T. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. Annual Review of Psychology, 59, 255–278.

Fields, R. D. (2008). White matter in learning, cognition and psychiatric disorders. Trends in Neurosciences, 31(7), 361–370.

Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). Human Performance. Brooks/Cole.

Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? Nature Reviews Neuroscience, 11(2), 127–138.

Hebb, D. O. (1949). The Organization of Behavior. Wiley.

Kahneman, D. (2011). Thinking, Fast and Slow. Farrar, Straus and Giroux.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica, 47(2), 263–291.

Korzybski, A. (1933). Science and Sanity. Institute of General Semantics.

Lazarus, R. S. (1984). On the primacy of cognition. American Psychologist, 39(2), 124–129.

Merzenich, M. (2013). Soft-Wired: How the New Science of Brain Plasticity Can Change Your Life. Parnassus Publishing.

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. Annual Review of Neuroscience, 24, 167–202.

Nader, K., Schafe, G. E., & LeDoux, J. E. (2000). Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval. Nature, 406(6797), 722–726.

Schultz, W. (1998). Predictive reward signal of dopamine neurons. Journal of Neurophysiology, 80(1), 1–27.

Stanovich, K. E., & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate.

Behavioral and Brain Sciences, 23(5), 645–665.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. Cognitive Science, 12(2), 257–285.