

Otras herramientas para la inferencia del diseño

Por Cristian Aguirre

1. Complejidad mínima funcional e Ignición funcional

Complejidad

Si bien tenemos numerosos conceptos sobre la complejidad así como análisis matemáticamente rigurosos sobre sistemas complejos, es difícil encontrar una definición específica que la cuantifique. Una sencilla forma de abordarlo, aunque puedan haber otros métodos matemáticos para tal fin, sería la que cuantifica la complejidad como **el número de casos posibles** que una estructura permite para un particular número, rangos de magnitudes y orden espacio temporal de sus componentes.

Para aclarar esto consideremos como ejemplo un número de una lotería. En este caso tenemos una estructura con la siguiente colección de restricciones:

1°. Tiene que ser una colección de 5 caracteres (restricción numérica). $N = 5$

2°. Tienen que ser caracteres numéricos (restricción de magnitud).

$$\text{carácter} \times \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9\}, \text{ por lo tanto } R = 10$$

3°. Tienen un orden unidimensional único (restricción de orden). $O = 1$

Como los caracteres son homogéneos al tener el mismo rango el número de casos posibles será entonces: $C = 10^5 \times 1 = 100.000$ casos

El resultado no sorprende puesto que es fácil deducir que entre 0 y 99999 hay 100000 números distintos. La probabilidad de que salga el número de lotería para un caso particular será por tanto: $P = 1/C = 10^{-5} = 0.00001$

El cálculo de complejidad ya no resulta ser tan sencillo si la colección de elementos es heterogénea, es decir, tienen rangos de magnitud diferentes. En dicho caso podemos entonces aplicar la siguiente generalización:

$$C = O \times (R_1 \times R_2 \dots \times R_N)$$

Siendo C la complejidad, O el orden de los componentes, N el número de componentes y R_i los rangos de magnitud de cada componente.

Evidentemente esta definición funciona para cuantificar la complejidad en casos donde los elementos son discretos y acotados por rangos limitados y específicos. Para otros casos donde esto no se cumple la cuantificación de la complejidad por este método sería muy difícil, sino imposible de medir. No obstante es una aproximación útil como veremos.

Evidentemente la complejidad de un sistema se verá afectada por el cambio de cada una de estas 3 restricciones. Como tenemos 3 tipos pueden existir 8 posibles modos de

cambio, no obstante, solo mencionaremos el efecto de cada uno independientemente, siendo las demás otras combinaciones posibles:

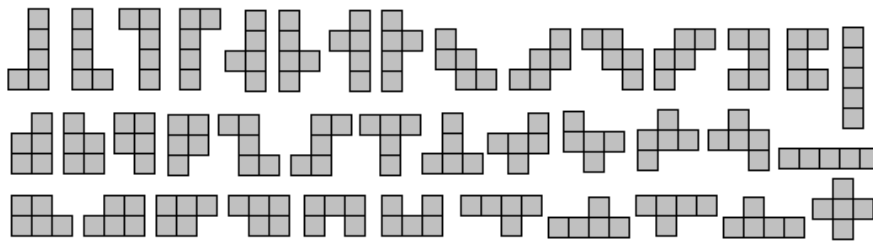
1. CAMBIO EN NÚMERO. Si el número de lotería tuviera por ejemplo 6 dígitos, el número de casos posibles sería $10^6 = 1.000.000$, es decir, 10 veces más casos posibles que el anterior número de lotería de 5 dígitos, por lo cual es más complejo.

2. CAMBIO DE RANGO. Supongamos que los organizadores del juego de lotería se les ocurre sortear un número hexadecimal en lugar de uno decimal, entonces el rango será: $\{0,1,\dots,E,F\}$, lo que significa que hay 16 caracteres por cada dígito ($R=16$). Conservando 5 caracteres para los números ($N=5$), tenemos que el número de casos posibles es ahora $C = R^N = 16^5 = 1.048.576$. Esto también supone que la complejidad obviamente se incrementa.

3. CAMBIO DE ORDEN. En este caso a los organizadores del juego de lotería se les ocurre añadir una disposición bidimensional a cada número posible, de tal modo que, si coincide la forma y el número adecuado se gana la lotería. supongamos que el número premiado es el siguiente:

$$\begin{array}{c} 7 \\ 308 \\ 4 \end{array}$$

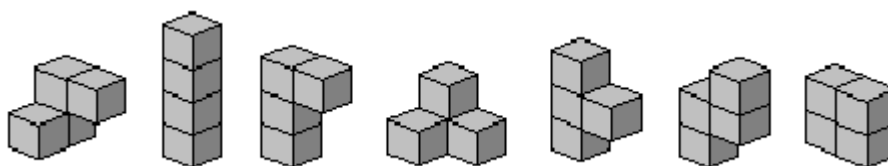
Dispuesto de dicha manera, si el 7 estuviese encima del 8, por ejemplo, no será el número premiado. Veamos las distintas formas posibles que puede adaptar este número:



Tenemos entonces, en este caso, 39 formas bidimensionales distintas para 100.000 números cada una. En este caso $O = 39$ y de la expresión anterior para calcular la complejidad tenemos:

$$C = R^N \cdot O = 10^5 \cdot 39 = 3.900.000$$

Ahora es más difícil acertar, puesto que este sistema es más complejo que el juego de lotería inicial. Ahora incorpora un orden bidimensional y por ello existen más posibilidades distintas. Podemos incluso ganar en complejidad si adoptamos una tercera dimensión o incluso una dimensión temporal. La siguiente figura muestra los distintos modos que pueden adoptar cuatro cubos sin considerar sus rotaciones e imágenes especulares.



Ahora veamos cual es la complejidad de un aminoácido antes de ver la relativa a una proteína. Sabemos que un aminoácido se sintetiza mediante el concurso de 3 bases de ácido nucleico. Cada base puede tener 4 elementos que pueden ser Adenina, Timina, Guanina y Citosina en un orden lineal simple. Según esto la complejidad de un aminoácido será la siguiente:

$$\text{Orden} = 1; \text{Magnitudes} = 4; \text{Número de componentes} = 3$$

$$\text{Entonces } C = 1 \times (4 \times 4 \times 4) = 4^3 = 64$$

De todos modos, como vemos, es una complejidad bastante modesta la de este monómero. Ahora vayamos a ver la complejidad de una proteína, el elemento más básico de los organismos biológicos. Según sabemos esta es una cadena de aproximadamente 100 o más eslabones que se pliega sobre si misma en la forma de un ovillo de acuerdo a las atracciones electrostáticas y enlaces débiles generados por los 20 aminoácidos distintos con los cuales puede estar constituido un eslabón. Su complejidad, suponiendo que tenga solo 100 eslabones, sería la siguiente:

$$C = 1 \times (20 \times 20 \times 20 \times \dots \times 20) \text{ 100 veces,}$$

$$\text{Es decir: } C = 20^{100} \text{ lo cual es aproximadamente } 10^{130}$$

Como se observa la complejidad de una proteína es una cifra portentosa, si se estima que el universo contiene 10^{80} protones, necesitaremos 10^{50} universos para equiparar todos sus protones con todas las proteínas posibles. Pero no todas las proteínas posibles son funcionales para los sistemas biológicos.

Dicha restricción se denomina **Restricción Funcional**. **La misma establece que toda estructura funcional, es decir, que tiene un objetivo y funciona para conseguirlo, es un subconjunto, más bien pequeño o incluso único, de todos los casos posibles permitidos por su complejidad.** El número premiado de un juego de lotería sería un ejemplo de estructura funcional con restricción igual a 1 ya que dicho número es el único que **funciona** para cobrar el premio mayor.

En este punto la improbabilidad y especificación de William Demsky hallarían paralelo en estos conceptos del siguiente modo:

$$\text{Improbabilidad} = \text{Especificación (Restricción funcional)} / \text{Complejidad del sistema}$$

Considerando la “improbabilidad” como la escasa probabilidad de hallar una estructura funcional para una restricción funcional (R_f) de un sistema de complejidad C tenemos entonces que:

$$P = R_f / C$$

Ahora bien de acuerdo a la Teoría de la Información la misma es cuantificable como inversamente proporcional a la certidumbre de su predicción. Es decir, si sabemos el resultado de una observación no hay incremento de información, más si lo desconocemos, el símbolo o estructura funcional observado sí aportará información. Esto significa que la información de un símbolo o estructura funcional será inversamente proporcional a la probabilidad de su aparición o formación.

Es decir, si queremos expresar la cantidad de información en bits, la información se

expresará como una potencia de 2 de tal modo que:

$$2^I = 1 / P$$

Aplicando logaritmo con base 2 a ambos términos resulta: $I = \text{Log}_2 (1 / P)$ finalmente:

$$I = \text{Log}_2 (C / Rf)$$

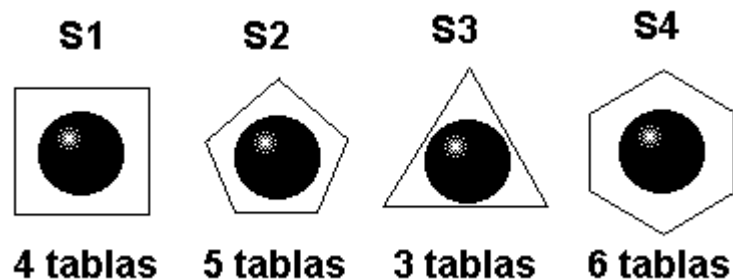
Como conclusión la cantidad de información de una estructura funcional será igual al logaritmo en base 2 del cociente entre la complejidad de dicha estructura y su respectiva restricción funcional.

Ahora veamos otros conceptos que nos serán de utilidad no solo para evaluar todo proceso de incremento de complejidad.

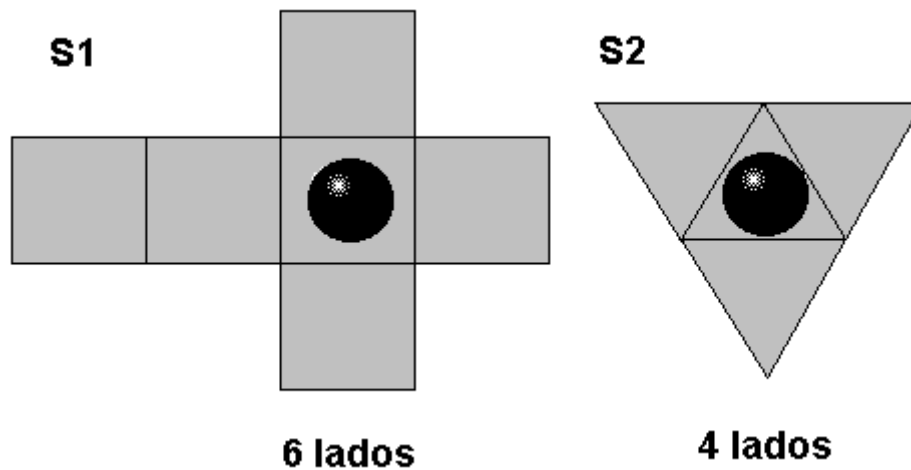
Complejidad Mínima Funcional (CMF)

Para todo objetivo se pueden plantear muchas soluciones, algunas serán más ineficientes que otras al requerir mayor complejidad para un mismo objetivo. No obstante, siempre puede existir una solución, entre todas las posibles, con una complejidad mínima necesaria para cumplir con el objetivo. A esta complejidad la llamaremos mínima funcional, en cuanto es **la mínima necesaria para permitir el funcionamiento y no existirá ninguna otra solución menos compleja ni mágica que consiga el objetivo.**

Consideremos una esfera. Nuestro propósito será cercarla de tal manera que quede aislada. Usando tablas se pueden disponer muchas soluciones:



Como se observa, (visto desde arriba) pese a que son posibles muchas soluciones, bidimensionalmente como mínimo necesitamos 3 tablas como en la solución 3. No existe una solución en la cual se use sólo 2 tablas rectas y pueda cercarse la esfera dentro de la geometría euclidiana. Las soluciones aplicadas aquí se refieren a un cerco bidimensional y hemos visto que como mínimo se precisa de tres tablas rectas, veamos ahora el caso cuando se precisa cercar la esfera tridimensionalmente, siendo la complejidad una función del número de caras:

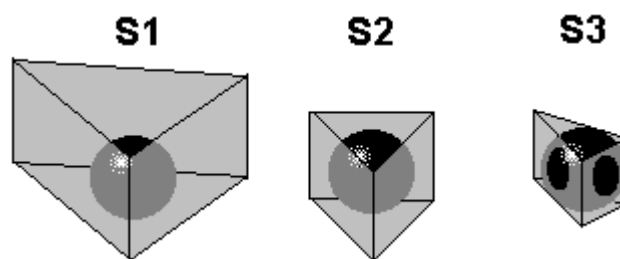


En este caso se presentan 2 soluciones, la primera consiste en un cubo de 6 caras, y la segunda en un tetraedro de 4 caras. También, claro está, hay más poliedros posibles con mayor número de caras, pero la solución mínima es el tetraedro. En un cerco tridimensional mediante superficies planas no hay una solución menor que esta, pues más allá tenemos una imposibilidad estructural.

Como hemos visto, el número mínimo necesario de caras planas para cercar bidimensionalmente a la esfera es 3, y tridimensionalmente 4. Por tanto en ambos casos se tienen unas CMFs de 3 y 4 respectivamente.

Ahora veremos como la CMF no es el único límite para las soluciones posibles.

Como ilustración usaremos nuevamente el cerco de la esfera. En la misma encontramos que la CMF lo constituía un cerco de 3 tablas, pero no consideramos el área como un parámetro de la estructura. En la siguiente figura veremos como no todas las soluciones estructuralmente iguales, pero paramétricamente distintas, son posibles:



En la primera solución los lados del cerco son grandes y por ello la esfera cabe holgadamente. Se puede por tanto buscar una solución en la que los lados sean lo más pequeños posibles hasta tocar a la esfera, tal es el caso de la solución 2. Para un cerco que forme un triángulo equilátero el área mínima límite sería $A = 4\sqrt{3} \cdot r^2$, donde r es el radio de la esfera. Sin embargo una solución aún menor (S3) es imposible, pues en dicho caso las paredes tendrían que atravesar la esfera y, como es obvio, ello no puede suceder.

En conclusión, podemos decir que S1 es una solución arbitraria mayor en cuanto al área de los lados, que S2 es la solución paramétrica mínima de las soluciones posibles, y por último S3 es una solución con imposibilidad paramétrica en cuanto a que, el área de sus lados, es inferior al mínimo paramétrico de la CMF.

Como se ha visto, la CMF no es otra cosa, sino una versión de la Complejidad Irreductible de Michell Behe

Ignición Funcional

En el desarrollo de todo embrión animal hay un momento trascendental cuando su corazón, incipiente pero ya capaz, empieza a latir por primera vez. Tal acontecimiento marca el principio funcional de esta maravillosa bomba de sangre que latirá sin descanso durante muchos años hasta que un día sobrevenga el colapso final y, del mismo modo abrupto en que empezó, termine su actividad funcional dejando de latir.

Del mismo modo que el corazón, otras estructuras funcionales están acotadas por dos fronteras que marcan el principio y fin de su estado funcional. Y tanto en la biología como en las máquinas creadas por el hombre existen dichas fronteras.

Al punto a partir del cual se alcanza la completitud y el contexto funcional necesario para que una estructura empiece a funcionar lo denominaremos; Ignición funcional. El caso contrario lo llamaremos Colapso funcional.

¿Cuándo acontece este especial instante en la construcción de una estructura funcional?

Acontece cuando una estructura funcional, en su proceso de integración, construcción, o embriogenesis, según sea el caso, llega a un punto en el cual, una vez colocado el último de sus componentes, la estructura empieza a funcionar. Antes de dicho instante no habrá funcionamiento. En consecuencia podemos decir que la Ignición Funcional acontecerá cuando se alcance la CMF (*léase complejidad irreductible*). Esto significa que antes de añadir el último componente, no existía aún la complejidad necesaria para que sea funcional y, por lo tanto, antes de dicho punto no existe funcionamiento. En el proceso inverso concurre el Colapso Funcional que acontece cuando se retrocede por debajo de la CMF de una estructura. Este punto, para los seres vivientes, no es otro que la muerte.

Coherencia

No todas las llaves son funcionales para abrir una puerta, sólo lo serán aquellas que tengan el perfil complementario de la cerradura, es decir, sean coherentes con la misma. Ello permitirá que la misma pueda girar y así activar los mecanismos de apertura de la puerta. Si por el contrario la forma de la llave no fuese coherente con la cerradura no podrá conectar con ella y, por lo tanto, no se podrá abrir la puerta.

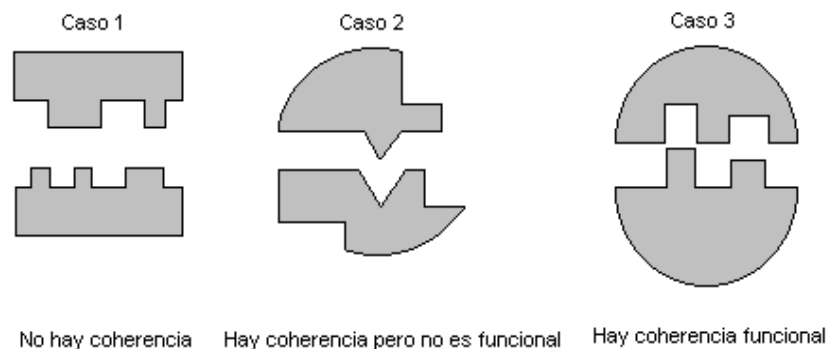
Con este sencillo ejemplo podemos decir que la coherencia es la capacidad de un átomo, molécula, o artefacto de conectarse con otros e incluso con un conjunto estructural producto que llamaremos **contexto**.

En la naturaleza también existen muchos casos que ilustran distintos tipos de coherencia de acuerdo a cuan fácil se realiza la conexión. Los átomos pueden unirse espontáneamente de acuerdo a una coherencia llamada valencia con otros átomos para formar moléculas. En ésta, los átomos son capaces de enlazarse, sea por compartición de electrones o por atracción electrostática de una manera **espontánea**, por supuesto con el debido concurso de la energía necesaria. En otros casos la unión no esta tan sencilla, pues

requiere el concurso de un agente externo que haga las veces de casamentero para unir parejas, a este agente se lo conoce como **catalizador** y estimulará el apareamiento de ciertos átomos o moléculas con otras, éste es por tanto un caso de coherencia **forzada**. Las enzimas, por ejemplo, son proteínas catalizadoras que fuerzan las coherencias necesarias para enlazar a distintas moléculas entre sí.

El ADN es un gran ejemplo de coherencia. Esta es una enorme molécula de ácido nucleico dispuesta en una doble hélice de 2 cadenas cuyas bases (los eslabones de la cadena) son estrictamente complementarias.

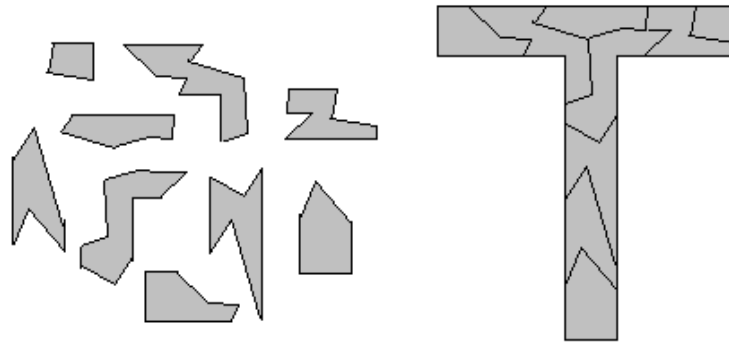
Ahora bien la coherencia puede ser funcional o no serlo. Para entenderlo veamos las siguientes 3 figuras:



Tenemos tres casos en los que el funcionamiento consiste en formar un círculo. En el primer caso no hay encaje y por lo tanto no pueden conectarse, no son coherentes. En el segundo caso, si pueden conectarse, pero la estructura producto no es funcional. Por último, en el tercer caso, hay coherencia funcional por cuanto no solo encajan sino que forman un círculo.

Ahora bien si analizamos el caso 2 de las tres figuras podemos preguntarnos: ¿Qué impide que a estas dos piezas con coherencia no funcional se le añadan otras piezas con las cuales se pueda formar un círculo mayor y cumplir así con el objetivo? Hay que reconocer que ello es posible, por tanto, aunque 2 componentes no formen una estructura funcional producto, si pueden en cambio, ser parte del contexto de un mayor número de componentes que juntos si formen una estructura funcional. Los juegos de rompecabezas son un ejemplo bastante claro, algunas piezas son coherentes con unas más no con otras. No obstante, existe un **contexto** mediante el cual todas están encajadas formando una estructura funcional. Lo mismo sucede con cualquier pieza de una máquina cualquiera, primeramente tiene coherencia con otra pieza a la cual puede conectarse, pero el resultado es, aparentemente, no funcional. Sin embargo, cuando se juzga la misma a la luz del contexto de la máquina en conjunto completamente conectada, sí resultará ser coherencia funcional. A esta propiedad se denomina **coherencia de contexto** y es la característica fundamental de todas las estructuras funcionales.

El siguiente ejemplo muestra el caso de un conjunto de componentes con coherencia de contexto, en el cual las piezas encajan para formar una T que funciona como carácter alfabético, luego la misma es una estructura funcional.



De esto se deduce también la siguiente consecuencia: si se cumple que la estructura es funcional, un componente cualquiera de la estructura tendrá que ser funcionalmente coherente con el resto. Y ello significa que un componente puede ser útil solo en la totalidad del contexto estructural, más no de forma independiente, del mismo modo que un chip microprocesador es solo útil cuando está conectado a la placa base de un ordenador, **de forma independiente no sirve para nada**, salvo como curiosidad. A este tipo de funcionalidad, que solo funcionan en un contexto y no de forma aislada, la llamaremos **funcionalidad contextual**. Si existe un componente que puede ser funcional por sí solo tendrá entonces **funcionalidad singular**.

Estos últimos conceptos podrían pasar desapercibidos como conceptos matemáticos sin importancia. Sin embargo, son cruciales para juzgar que, cuando una estructura cualquiera de nuestro universo refleje funcionalidad contextual, será efectivamente un artefacto, es decir, una estructura funcional que tiene un objetivo, implica un diseño (contexto complejo) y por consecuencia **tiene un diseñador**.

Ahora bien, se puede objetar a esto que se puede dar el caso, y de hecho se da tanto en la naturaleza como en los mecanismos hechos por el hombre, que existan componentes que tengan a la vez funcionalidad contextual y también singular. Por ejemplo, una resistencia eléctrica puede estar conectada a una enorme cantidad de **contextos distintos** (circuitos) sin perder su funcionalidad singular. Es más, el hecho de poder participar en más de un contexto es lo que demuestra su funcionalidad singular.

Hace algunos años un barco mercante tuvo que detenerse en alta mar por causa del fallo de un importante instrumento de navegación. Cuando se revisó el instrumento se descubrió que una miserable resistencia quemada era la causa del fallo. Sin embargo, no disponían de ninguna resistencia con la específica resistividad en su colección de repuestos. El no poder reparar el instrumento y tener que esperar varios días a que un helicóptero trajera el repuesto suponía varios miles de dólares en pérdidas. En este dilema los técnicos se pusieron a pensar hasta que a uno de ellos se le ocurrió una brillante idea. Era verdad que no tenían una resistencia con esa específica resistividad, pero sí disponían de otras resistencias con las cuales se podría, en una determinada disposición serie y paralelo, obtener un equivalente resistivo a la resistencia quemada. Puestas manos a la

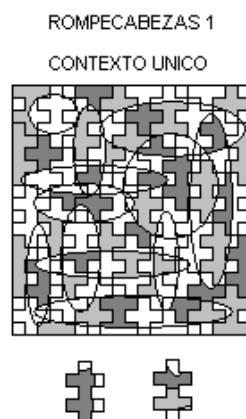
obra hicieron dicho equivalente y lo soldaron a la placa del instrumento de navegación logrando, no sólo repararlo, sino también ahorrar muchos miles de dólares a la compañía naviera.

Esta anécdota muestra como la funcionalidad singular de varias resistencias se unieron deliberadamente para conferirles la funcionalidad contextual de la resistencia quemada, pero la moraleja es que, aunque dichas resistencias eran los repuestos de otros contextos, pudieron, en sociedad con otros, funcionar en el contexto del instrumento de navegación dañado.

Esta facultad de los componentes de conectarse a más de un contexto distinto es lo que ahora llamaremos **multicontextualidad**. Además, por lo que hemos visto, todos los componentes con funcionalidad singular (que funcionan por sí solos) serán multicontextuales.

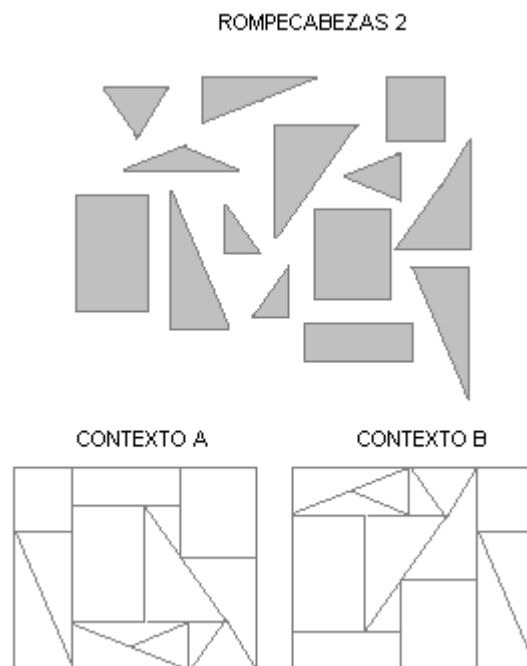
Para ilustrar con claridad este principio consideremos el siguiente ejemplo: Imaginemos que tenemos una máquina que nos puede suministrar tarjetas con un número del 0 al 999999999. Resulta que deseamos construir un número de 9 cifras, por ejemplo el número telefónico 045784512. La máquina nos dará los números de manera aleatoria o sea que si necesito conseguir dicho número con 9 dígitos (complejo) podría tener que solicitar números a la máquina hasta 10^9 (mil millones) de veces y, claro, no estoy dispuesto a esperar tanto. Otra solución sería extraer números de la máquina con un menor número de dígitos (menos complejos) y unirlos para obtener el número deseado. No obstante, aunque busque números de 4 y 5 dígitos a fin de unirlos y obtener el número deseado será todavía engorroso porque, para tener la esperanza matemática de obtener estos segmentos, tendré que pedirle números a la máquina hasta $10^4 + 10^5$ (110000) veces lo cual aún es demasiado. La solución más simple, por el principio de multicontextualidad, es pedirle a la máquina números de un solo dígito (muy poco complejos) y unirlos para formar el número telefónico, así a lo mucho tendré que pedirle a la máquina 90 solicitudes de números, algo que ya es bastante razonable. Este ejemplo nos muestra que a más complejidad hay menos multicontextualidad y más en caso inverso.

Otra forma de entender este concepto es mediante dos rompecabezas. El primero de ellos es el típico mosaico de piezas similares, pero cuya superficie forma una imagen que constituye un contexto específico como el siguiente:



Aunque las piezas sean idénticas en forma, salvo las de los bordes. La imagen que contiene las hace únicas y con una funcionalidad contextual que permite que sean encajadas en un solo lugar del rompecabezas. No sirven para encajar en otro lugar porque alterarían el contexto que solo es funcional para una imagen en particular.

Sin embargo, podemos proponer otro rompecabezas más endiabladamente divertido pero difícil. Consiste en un juego de figuras muy simples y sin imagen. Se tratan de polígonos de sólo 3 y 4 caras. La función consiste en conectarlas de tal modo que formen un contexto rectangular como pueden ser, por ejemplo, los contextos A y B:



Intente el lector realizarlos sin ver como pueden estar dispuestos para los contextos finales, ya que eso sería hacer trampa, y se sorprenderá de la enorme dificultad que conlleva alcanzar un contexto rectangular cualquiera. La razón estriba en que las piezas de este rompecabezas, a diferencia de la anterior, son muy poco complejas y tienen funcionalidad singular, son fáciles de conectar, pero por lo mismo hacen del rompecabezas más difícil de realizar porque sus piezas se pueden conectar de muchas maneras diferentes y no sólo de una en virtud de una funcionalidad contextual.

Los átomos, por ejemplo, son enormemente multicontextuales (tienen funcionalidad singular) ya que pueden ser partes de muchos contextos moleculares diferentes. Del mismo modo los aminoácidos son moléculas multicontextuales para una enorme cantidad de contextos proteicos, pero no todos los aminoácidos posibles sirven para las proteínas biológicas (recordemos que el juego es de sólo 20 aminoácidos). Ahora bien, a medida que vamos subiendo en complejidad veremos que la multicontextualidad empieza a disminuir en proporción inversa.

Cuando llegamos al nivel de complejidad de las proteínas veremos que pocas serán multicontextuales y muchas, como las proteínas reguladoras que se conectan por su coherencia espacial con una específica zona reguladora de un gen específico, son de hecho monocontextuales teniendo así una definida funcionalidad contextual, es decir, para un solo contexto y no sirviendo en absoluto para ningún otro.

Los rompecabezas también ponen en relieve un principio interesante. Cuando comparamos una pieza del rompecabezas 1 con otra del rompecabezas 2 notaremos que salta a la vista de que el primero es más complejo que el segundo. Es por ello que resulta más fácil el primer rompecabezas, porque hablamos de módulos no de componentes simples, hablamos, por ejemplo de genes, ribosomas, spliceosomas, etc. El segundo rompecabezas es más difícil porque es como si nos pidieran que con algunos átomos o incluso monómeros sencillos formáramos el contexto de una proteína, ARN mensajero, un gen, u otro polímero **funcional** de la célula.

Ahora reflexionemos, si comparamos el ejemplo de los números con el del rompecabezas surge una aparente contradicción que nos va a llevar a una conclusión crucial. En el ejemplo de los números vimos que para conseguir el número requerido, es decir, que sabíamos cual es conociendo el contexto final, resultó más sencillo pedirle a la maquina números lo menos complejos posibles, es decir, de un solo dígito. Sin embargo, en el caso del rompecabezas fue al contrario. Aquí no conocíamos el contexto final (el rompecabezas armado). Por ello la solución más fácil resultó ser el rompecabezas con las piezas más complejas porque era más sencillo conectar piezas que te daban pistas a través de su imagen para saber con quien pueden conectarse, que piezas sencillas que no aportan información de conexión por su elevada sencillez y, en consecuencia, elevada capacidad multicontextual.

¿Qué diferencia existe en estos casos que resuelva esta paradoja?

La diferencia está en la manera de encarar dichos problemas. **En el primer caso conocíamos el contexto final lo que nos proporcionaba un plan de solución, el número en concreto. En el segundo caso no conocíamos el contexto final y por ello carecíamos de un plan.** No hay ninguna receta que nos guíe para la fabricación o síntesis de un resultado concreto. Lo que hacemos en el rompecabezas, como se hace en la investigación biomolecular, es solo investigar como se conectan los componentes para estudiar o llegar al contexto final (ingeniería inversa), y ello, claro está, es más fácil de hacer con módulos complejos que con componentes extremadamente simples.

¿Qué nos enseña esto?

Nos enseña que todo proceso de síntesis incluida la abiogénesis (aparición de la vida desde precursores no biológicos) es más fácil si existe un plan como lo es el ADN para todo ser viviente. Pero todos sabemos que para el caso del origen de la vida no existió ningún plan ya que partimos de procesos de generación de orden estrictamente naturales. Y si para los seres inteligentes como nosotros nos resulta aún inabordable crear vida en el laboratorio desde cero sólo con componentes químicos sencillos como los del matraz de

Miller, más aún inverosímil e inabordable lo será sin bioquímicos en el escenario del origen de la vida.

Ahora sí, en virtud de lo que hemos visto, decimos que nos resultará más fácil trabajar con módulos complejos ya funcionales (evolución modular), sonará más verosímil, pero aún así no adelantamos mucho ya que incluso estos módulos complejos son aún fantásticamente inabordables de sintetizar.

Por último, aún no hemos examinado un tipo más sofisticado de coherencia, es aquella en la cual el agente externo necesita cumplir un convenio para que la conexión sea realizada. No se trata solo del concurso de energía y su sola presencia, en este caso, el agente externo necesita realizar un **convenio de conexión** sin cuyo desarrollo la conexión es imposible. La mayor parte de los mecanismos construidos por el ser humano tienen este tipo de conexión por convenio y también todos los organismos biológicos lo presentan.

Muchos de los componentes biológicos están conectados mediante convenios de conexión especiales. **Un convenio de conexión es un método de conectividad entre dos componentes.** No se trata de simples acoplamientos. Se requiere energía y agentes externos que catalicen (ayuden a conectar) los mismos mediante un proceso elaborado.

Imaginemos un experimento mental. En una caja coloquemos un envase y su respectiva tapa. Dicha tapa tendrá una rosca en sentido horario, siendo ésta su sencillo convenio de conexión con el envase. De lo que se trata es de proporcionar energía al proceso agitando la caja con los dos elementos en su interior hasta que las mismas se conecten por obra del azar. Ahora como esto requiere de tiempo, mucho tiempo, seamos bondadosos y agitémosla durante unos 20 millones de millones de años. Luego abramos la caja y veamos en su interior que ha pasado. ¿Pudo el azar conectar ambos componentes en esta extraordinaria multitud de tiempo? Cuando abramos la caja encontraremos solo polvo, pero no una conexión. ¿Por qué? Porque la conexión de ambos componentes se producirá solo si se aplica el convenio de conexión, que es girar la tapa en sentido horario sobre la boca del envase. De nada servirán 20 millones de millones de años de agitación. Esto significa que muchas de las conexiones del mundo biológico no se van a dar **NUNCA** por efecto del azar ni con el concurso de la eternidad ni en todas las burbujas del pretendido multiverso con las más preferentes leyes y constantes físicas. Igualmente en el caso biológico podemos poner en el envase a muchos monómeros y agitarlos juntos sin la presencia de enzimas clave por el mismo tiempo y repetirlo en todos los universos posibles, sin embargo, como en el anterior caso, no los hallaremos unidos jamás.

La síntesis de proteínas presenta este tipo de conexión. Ninguna proteína biológicamente funcional nace como el resultado fortuito de una conexión espontánea. Resulta más bien de un elaborado proceso de fabricación en la cual la doble cadena de un gen unida por complementariedad (coherencia funcional) es separada por una enzima llamada polimerasa de ARN creando así, de una de las cadenas, un molde del gen. Dicho molde es una cadena de ARN mensajero (ARNm). Esta cadena ya libre será ahora tratada por un artefacto llamado Ribosoma. Este artefacto recibe la cadena de ARNm y con ella cataliza la unión de cada eslabón con fragmentos de ARN de transferencia (ARNt) dispersos en el

medio que sean complementarios con los eslabones del ARNm. De este modo va saliendo del ribosoma una cadena de aminoácidos que luego se plegarán por medio de atracciones electrostáticas en una disposición espacial como la de un ovillo de lana. Así finalmente se terminará de fabricar una proteína.

Como hemos visto, este proceso, que se ha narrado de una manera extraordinariamente simplificada, implica una compleja coordinación de muchos actores en la maquinaria celular. No son pues simples conexiones, ni siquiera conexiones catalizadas, tienen con claridad un convenio de conexión complejo y ello implica que precisan de un algoritmo de fabricación.

Sabemos que a nivel atómico, los átomos pueden unirse (conectarse) con otros átomos para formar moléculas de acuerdo a ciertas coherencias llamadas valencias que les permiten compartir electrones y formar entes mayores. Conforme aumenta la complejidad de la molécula, monómero o polímero, sus capacidades de conexión (multicontextualidad) son cada vez menores e improbables. Finalmente, ya a nivel celular, aparecen convenios de conexión que implican a muchos actores protagonistas de un proceso de síntesis y a su vez, también dichos actores son sintetizados por otros convenios complejos en los que también participan los actores que sintetizaron en un proceso de interdependencia mutua.

John Horgan, en su artículo “La búsqueda inacabada del origen de la vida”. (Investigación y Ciencia Abril 1991 N°175) aborda este problema al decir:

“Los trabajos de Watson y Crick y otros han demostrado que las proteínas se fabrican siguiendo las instrucciones dictadas por el ADN. Pero hay un problema. El ADN no puede desempeñar su trabajo, ni siquiera su propia replicación, sin el concurso de proteínas catalíticas, o enzimas. En pocas palabras, no se pueden fabricar proteínas sin ADN, ni tampoco ADN sin proteínas”.

Todos estos actores forman parte de un contexto funcional complejo, con mutuas dependencias y con conexiones e interrelaciones también complejas que requieren convenios de conexión para ensamblarse entre sí. Como hemos visto antes, dichos convenios no pueden reproducirse por el solo concurso de energía y tiempo, **ya que implican agentes externos que dirijan el proceso de conexión.**

El popular dilema “Que es primero ¿el huevo o la gallina?” Nos lleva a un bucle sin fin, la gallina ciertamente procede de un huevo empollado por otra gallina que a su vez fue fecundada por un gallo y empolla otro huevo del que saldrá otra gallina. Como se observa el dilema no puede ser resuelto sobre la base de sus elementos, si este bucle no es roto en algún punto. Pero esto no es un mero entretenimiento. El dilema lleva implícito un principio clave de la biología; **¡la vida procede de la vida!**

Ciertamente no vemos gallinas aparecer de la nada para empollar huevos ni tampoco huevos que surgen del barro por mecanismos de auto organización de la materia y terminan alumbrando gallinas. **Existe, en todo mecanismo de reproducción en el mundo biológico, una etapa de gestación en la cual, sea un organismo multicelular o**

unicelular, el organismo reproductor prepara internamente al organismo reproducido hasta llegar a una complejidad mínima funcional (CMF) que le faculte una independencia del reproductor. Esta puede ser inmediata, como sucede en la reproducción por división celular, o asistida temporalmente, como en el caso de la gallina, hasta que el ente biológico pueda vivir por cuenta propia.

Una exposición más completa y matemáticamente formal de estos y otros conceptos, así como una demostración matemática de porque la multicontextualidad de una estructura es inversamente proporcional a su complejidad, se puede hallar en el libro "Elementos de Estructuras Funcionales" del mismo autor.