

7 FEB. 1977

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS

Revista de OBRAS PUBLICAS

Año CXXIV

ENERO 1977

Núm. 3140

ESTETICA DE LAS ARTES DEL INGENIERO

Por CARLOS FERNANDEZ CASADO

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

La fundamentación teórica de este discurso, leído por el autor el 21-XI-1976 con motivo de su recepción en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, se basa en la filosofía de Xavier Zubiri y especialmente en las conclusiones del trabajo publicado en Realitas, I: "Enfoque de la Estética desde la filosofía de Zubiri". También han influido notablemente las comunicaciones en las mesas redondas celebradas con motivo de las exposiciones sobre su obra personal y la de su grupo, organizadas por el Colegio de Ingenieros de Caminos en distintas ciudades españolas.

La llamada "Revolución Industrial", a caballo entre los siglos XVIII y XIX, que fue para la Ingeniería el paso decisivo hacia la etapa actual, nos legó un desprecio lamentable por la estética de nuestras obras, que se concretó en la tesis de incompatibilidad entre utilidad y belleza. Esta tesis ha quedado como un axioma de tal fuerza, que incluso hoy, a más de siglo y medio de distancia, no ha podido borrarse de la mentalidad del hombre corriente, y lo que es aún más grave, de la de los propios ingenieros.

Este *prejuicio* se explica perfectamente en origen, pues la revolución industrial corresponde al gran desarrollo en la utilización del carbón, del hierro y de la máquina de vapor, lo que dio lugar a un ambiente material de humo, polvo y suciedad, al que hay que superponer el inmaterial, de la explotación, por un capitalismo incipiente y voraz, de todo lo que caía en sus manos: hombres, mujeres, niños y máquinas.

Esto hizo que los economistas de la época y los filósofos de la izquierda hegeliana se ocuparan teórica y prácticamente de la desgraciada situación del nuevo estamento social que había proliferado, el cual comenzó a reivindicarse ayudado por los intelectuales aludidos.

Marx encuentra a Engels en París en 1844, y juntos visitan Inglaterra, quedando profundamente impresionados de las miserables condiciones en que vivía el proletariado. En 1848, ya en pleno triunfo del maquinismo, aparece el *Manifiesto comunista*.

El ingeniero, en cambio, sale de la revolución industrial sin papel activo en la transformación sociológica, apegado al capital y con toda la tristeza del ambiente.

Esto aparece claramente al considerar los ingenieros brillantes del siglo XIX en la esfera de la construcción, que son, aunque parezca paradójico, los ingenieros empresarios, pero precisamente porque tenían en su poder todos los resortes de la economía de la producción y se lanzaron a una praxis, casi libre, controlada únicamente por su genialidad en cierto modo generosa. Este tipo ingenieril queda muy destacado en la figura de Eiffel, de la que nos ocuparemos ampliamente. Tenemos, también, ingenieros ejemplares en el desarrollo de la ciencia de la construcción, que evoluciona con gran eficacia durante este siglo; surgiendo otro tipo de ingeniero novecentista de categoría, el de las administraciones estatales; así, ya de nuestro país dio hombres liberales que destacaron, además, en las ciencias, en las artes y en la política.

Por otro lado, es disculpable la falta de alegría de los ingenieros decimonónicos y de la primera mitad de nuestro siglo en el tema que nos toca considerar, pues hay que tener en cuenta que en siglo y medio de transcurso, el ingeniero constructor se encontró con la aparición de cuatro materiales nuevos: el hierro, que inicia su independencia estructural a finales del siglo XVIII con el puente de Coalbrookdale; el cemento Pórtland, que permite conseguir hormigones de mayor seguridad y resistencia que las de los que venían utilizándose desde los romanos; el hormigón armado, que constituye una invención revolucionaria al conseguir una fábrica que resiste tracciones y compresiones, y que empieza a destacarse a finales del siglo XIX; y por último, el hormigón pretensado, mejora importante del anterior, que inicia sus aplicaciones en los años próximos a la segunda guerra mundial, la cual paraliza su primer desarrollo, tomando el impulso definitivo al finalizar ésta, o sea, a mitad de nuestro siglo.

Pues bien, los ingenieros constructores que se enfrentan con estos cuatro materiales nuevos han de emplearse a fondo, primero para orientar su producción, ya que estos materiales no los proporciona gratuitamente la Naturaleza, que da únicamente materias primas, las cuales hay que convertirlas en materiales industriales, que han de sufrir nuevas transformaciones para constituir elementos estructurales de puentes, presas, edificios, etc. E incluso las características formales de estos tipos estructurales cambian profundamente debido al extraordinario repertorio de nuevas posibilidades que aportan los materiales de que venimos hablando, lo cual exigió análisis teóricos muy importantes para obtener los métodos de diseño y de cálculo de dichas formas.

Fue en el siglo XIX, como ya hemos indicado, la gran etapa del desarrollo de la teoría de las estructuras resistentes, o sea, de la ciencia de la construcción, aunque la iniciación positiva de ésta corresponde al libro *Discorsi e dimostrazioni matematiche in torno a due nuova scienza*, de Galileo (1638); y ya en el siglo XVIII tenemos métodos aplicables a las cúpulas de revolución descubiertos por La Hire, que permitieron al ingeniero Poleni, en 1748, hacer la comprobación a posteriori de la cúpula de San Pedro mediante la teoría de los polígonos funiculares.

Enfrascado el ingeniero estructural en la resolución de estos problemas, ineludibles para llegar al dominio de las nuevas estructuras, se obsesionó con su cálculo, siempre farragoso, que le absorbía una parte muy importante del tiempo disponible para cada proyecto, en detrimento del correspondiente a las otras fases del mismo, más importantes y creativas, como son el diseño de las formas, el perfeccionamiento de los detalles y los modos de construir. Esto producía una tristeza

inevitable que se sumó con aquella otra de fondo social, a la que ya hemos aludido, por lo que no pudo reaccionar contra el lamentable axioma de incompatibilidad entre belleza y utilidad, o todo lo más argumentó, con verdadera pereza mental, que la belleza de una obra de ingeniería reside en su utilidad, lo cual, aunque parezca una conclusión positiva invalidando el axioma, supone realmente el total desentenderse con respecto a las artes bellas.

Indiferencia o incompatibilidad conducen a lo mismo: falta de relación entre belleza y utilidad, y así, cuando el punto de vista en la cuestión es el del ingeniero, aparece el desprecio total de las cualidades estéticas de su obra, y si es el de los conspicuos guardadores de las artes decimonónicas, la exclusión de la ingeniería del recinto de las bellas artes. Así, en un documento académico de principio de nuestro siglo, se puede leer, a propósito del acueducto romano de Sevilla: "No se trata, es cierto, de una obra de arte; que los romanos el arte resérvanlo, con acuerdo, para donde había de hablar al espíritu y a los ojos: para los templos, anfiteatros, termas y demás construcciones urbanas; trátase de una obra de ingeniería como las murallas, las cloacas y los pantanos, puentes y calzadas, en las que lo principal era la solidez, y el fin, utilitario."

Frente a este menosprecio de la utilidad me correspondería hacer un elogio de lo útil, pero no es menester ocuparme especialmente de ello, pues toda mi disertación va a estar orientada, más o menos, en ese mismo sentido. Empezaremos por plantear la cuestión de si algo real de nuestro mundo puede ser absolutamente inútil; porque, de lo contrario, en mayor o menor grado, todas las cosas deben participar en la cualidad utilitaria; y ya, en la graduación de la misma, considero de mayor utilidad, por ejemplo, un templo que un acueducto, ya que sin disfrutar de los beneficios de la abundancia de agua se ha pasado la Humanidad largos períodos de su historia, mientras que, desde que el hombre es hombre, ha tenido un lugar delimitado para comunicarse con la divinidad.

No es suficiente en la vida "no hacer nada malo a nadie", pues el hacer es siempre algo positivo, útil para el que lo realiza, pero que también puede ser útil a sus semejantes. Este es el caso del ingeniero, siempre en busca de utilidad para el disfrute común. Cuando el término de un acto consiste en algo material, tenemos el *acto poyético*, que en la clasificación aristotélica es el tercero en orden de importancia, precedido por el *acto teorético* y el *acto práctico* (la praxis), en los cuales el fin queda interior al acto, y normalmente sólo al autor aprovecha, mientras que en el poyético el objeto producido se instaura independiente del autor, y, en la mayoría de los casos, queda a beneficio de todos.

Tenemos entonces la producción de bienes, es decir, de cosas buenas, pero también pueden producirse cosas malas (de mala condición), que nunca serían inútiles, sino nocivas. Y lo que es peor, utilizar cosas buenas en sí para un mal fin, como, por ejemplo, dedicar excelentes aceros para fabricar cañones, o la energía atómica para producir bombas. Es el caso de utilizar la técnica desviándola del camino recto de su finalidad benefactora, para tomar el siniestro de la destrucción y la muerte. No es el tema de la ocasión actual, pero no la puedo dejar pasar sin expresar mi condenación contra la crimosidad de la guerra.

La misión del ingeniero está en sacar la máxima utilidad posible de las cosas, y esta apetencia de utilidad es la que enderezó al homínido hacia *homo faber* primero, y después, hacia *homo sapiens*. Su voluntad está empeñada afanosamente en

el dominio ilimitado del mundo físico, para ensanchar progresivamente la base material en que se apoya la especie humana. Esta voluntad de dominio, precisamente por su carácter ilimitado, presionando en todas direcciones conduce a lo económico. La utilidad buscada la consigue el ingeniero mediante la alteración de procesos cósmicos, con lo cual perturba el equilibrio existente, pero instaura uno nuevo, con ganancia en la sustitución del primero, natural, por el segundo, artificial que él dispone y que en definitiva ha de reajustarse también en lo natural si queremos que se logre. Pero, además, como rige lo económico, su manera de obrar ha de ser tal que, consiguiendo la utilidad buscada, la alteración sea mínima; o a la inversa, con una determinada alteración lograr la utilidad máxima. El árbol que arrancamos del bosque para convertirlo en madera, en algo utilizable, nos impone la obligación de utilizar ésta al máximo.

Cobra así lo económico un carácter amoroso: causar la mínima alteración en la Naturaleza; resultado al que llegamos también partiendo de la actitud opuesta, aunque utópica, de utilización integral y despiadada, pues como se trata de una economía ecuménica, todo despilfarro en cualquier sector repercutiría inmediatamente en el conjunto, estableciéndose por interacción automática un reajuste de limitación.

La depreciación de lo utilitario ha correspondido a una reacción de defensa de la mentalidad tradicional europea, primero contra el empirismo inglés y después contra el positivismo, el pragmatismo y el materialismo histórico, tanto en la esfera de la metafísica como en las de la ética y la economía.

No quiero cerrar esta parte introductoria de la disertación con esta impresión pesimista y combativa que pertenece al pasado, y para ello abriremos la esperanza hacia el futuro desde la realidad actual de los *ordenadores electrónicos*. Estas máquinas, cuya trayectoria se mantiene en más de veinte siglos, dando lugar a la genealogía de los autómatas, que ya pueden realizar su aspiración utópica, pero no desde ellos mismos, sino formando simbiosis con el hombre que aportará siempre su inteligencia completando su aspiración cerebral, de los cuales únicamente tienen la faceta de memorización, pero reducida a una acumulación inerte de información, aunque con una capacidad operativa fabulosamente rápida a partir de aquélla, aunque sólo en cadenas deductivas.

Volviendo al problema de la relación entre utilidad y belleza resulta que se abordó ya hace más de veinticinco siglos, al plantearse por primera vez el tema de lo bello en el diálogo "Hippias Mayor", de Platón, en el cual inicia éste, además, su teoría de las ideas. Nada más y nada menos. Este diálogo, de los más bellos de Platón, verdaderamente aderezado de sal ática, se refiere a la discusión de Sócrates con el sofista que le da nombre, uno de los más pedantes y conspicuos en el sentido que estamos empleando este último término para los *exquisitos* de las artes.

Empiezan por considerar cosas bellas y van apareciendo una lira, una yegua airosa, una bella muchacha, y, de sopetón, Sócrates introduce en el desfile una marmita de barro; lo cual causa un desagrado profundo a su interlocutor, que, aunque con gran asco, tiene que terminar por admitirla, imponiéndose unas condiciones que resultan interesantes para nuestro caso: fabricada por un buen alfarero, hecha a torno, bien pulida, bien redondeada, bien cocida y de hermosas dimensiones.

Este diálogo es uno de los estudios más interesantes para fundamentar la Estética en general y especialmente la de la Arquitectura; se pasa revista a las definiciones de la belleza, que han vuelto a salir al ruedo en los planteamientos contemporáneos: lo bello reside en el material apropiado, en la adecuación al fin, en lo ventajoso para el hombre, en la eficacia y también en la utilidad, terminando por circunscribirla a las cosas agradables a la vista o al oído. Se van desechando todas ellas sucesivamente, pero como establece Zubiri se trata de una definición aporética en la cual ninguna de las respuestas cumple las condiciones, pero entre todas configuran el ámbito donde hay que profundizar para llegar a la definición buscada. El diálogo se cierra con una frase tópica del momento: las cosas bellas son difíciles.

Ya que hemos traído a cuento el planteamiento primigenio de lo bello en Platón, recogeremos, en contraste diacrónico, de uno de los últimos trabajos de Heidegger: "El origen de la obra de arte", en el cual hay múltiples referencias a la Arquitectura, el siguiente fragmento que muy bien pudiera referirse al puente, o a la torre de un faro.

"La construcción queda allí reposando sobre su base rocosa. Este reposar-sobre de la obra saca de la roca lo oscuro de su embarazoso y por nada empujado soportar. Estando allí resiste la obra a la tormenta que pasa violenta sobre ella, y muestra de este modo a la tormenta en su violencia. El fulgor y brillo de la roca, aun pareciendo sólo gracia del sol, hace aparecer, sin embargo, en primer lugar la luz del día, la amplitud del cielo, la oscuridad de la noche. El seguro sobresalir hace visible el invisible espacio del aire. Lo inmovible de la obra se contrapone al flujo de la marea y permite que de su reposo aparezca su embravecerse. El árbol y la hierba, el águila y el toro, la serpiente y el grillo, entran sólo así en su peraltada figura, y de este modo aparece lo que son."

* * *

Concretando nuestro tema nos encontramos con las dos artes del ingeniero: correspondiendo una a las máquinas y otra a la arquitectura, ésta en su concreción más sencilla y franciscana, pero por eso mismo en puridad de esencia. Para introducirnos en cada una de ellas me voy a permitir traer aquí sendos fragmentos de mis dos primeros trabajos teóricos que se refieren a una y otra respectivamente.

En el primero, *Noche de gallo* (Granada, 1928), dije:

"La máquina realiza la ad-ecuación entre la voluntad del hombre y la armonía universal. El ingeniero proyecta la máquina resumiendo en ella el conjunto de intuiciones y experiencias que posee conducentes al fin que se propone. La aparición de la máquina —acción del hombre— supone una alteración en la economía universal; la Naturaleza reacciona, siendo necesario, para que la máquina se logre, llegar a un equilibrio entre ambas: voluntad del hombre que la impulsa, armonía universal que la delimita."

"Pero este equilibrio es transitorio, pues el hombre enriquece sus conocimientos a costa de la máquina y surge una nueva visión, una nueva imagen, una nueva teoría, mediante la cual realiza una máquina más perfecta, para la que la reacción

de la Naturaleza es menos intensa y le permite avanzar más en la realización de su idea.”

“Y la máquina va siendo cada vez más bella porque va conformándose en lo natural; va siendo cada vez más útil porque va adecuándose al fin para el que se creó.”

“La máquina más pura es el avión, que impulsado por ansia de velocidad se moldea al viento. El avión lucha contra la resistencia del aire que lo sustenta, y progresa afinándose, haciéndose más ágil; el roce del viento que él mismo se crea lo va alisando, y cuando un tipo ha cumplido su realización, el nuevo que nace viene ya informado por el viento que deformó al anterior. La presión de la Naturaleza es cada vez más intensa, el hombre se limita a registrar fielmente el suceder.”

“El avión tiende a convertirse en la solidificación de su estela.”

En cuanto a la arquitectura del ingeniero pasamos al segundo trabajo: *Revista de Obras Públicas* (1931).

“El problema arquitectónico se plantea al ingeniero para realizar una cierta función o conjunto de funciones. Esta función o conjunto de funciones —a realizarse en los elementos naturales— impone determinadas condiciones, que pueden reducirse en último término a dimensiones geométricas y esfuerzos a vencer.”

“Cumpliendo estas condiciones, el ingeniero proyecta su obra concretando en ella todo su saber: intuición + experiencia + cálculo, para que al llevarse a cabo con los materiales más convenientes y mediante los procedimientos de ejecución más adecuados, resulte económica. Y la obra subsiste en cuanto se equilibran los esfuerzos, y sirve en tanto contenga las dimensiones geométricas.”

“Como la variedad de funciones a realizar es limitada, el caso se repite con características análogas, y entonces, el saber enriquecido por la experiencia de las obras anteriores, permite concebir y llevar a cabo una más perfecta que todas. Esta perfección estriba —puesto que la función ha de quedar siempre servida—, en una adecuación mayor al servicio, consiguiéndose la resolución con menor dispendio total.”

“Examinemos más detenidamente esta evolución. La arquitectura empieza por hacerse geometría para cumplir las condiciones funcionales, integrando las dimensiones geométricas de partida, y después, se concreta estructuralmente para resistir a los esfuerzos. Claro está, que la estructura supone a su vez geometría, pero ésta puede no coincidir con la funcional, del mismo modo que mirando a lo mecánico, la geometría de lo funcional precisa de estructura para materializarse, que se agrega y en parte no coadyuva en el caso de no coincidencia.”

“Durante la evolución de un tipo arquitectónico se va borrando esta separación que existe necesariamente al principio, puesto que al plantearse por primera vez el problema hay que echar mano de las estructuras disponibles, las cuales han llegado a ser, al servicio de otra función y resultan, por consiguiente, parcialmente inadecuadas al caso. Esta adecuación funcional-estructural se consigue no sólo como resultado final de la obra, sino también durante el proceso constructivo y la estructura evoluciona, resultando en todo momento adecuada a la función provisional que desempeña.”

“Al mismo tiempo que la fusión de lo funcional y lo estructural, se verifica en el curso de la evolución un perfeccionamiento de lo estructural mismo. El equilibrio de esfuerzos, siempre logrado —condición *sine qua non* para que la obra persista— se verifica gracias a las acciones que aporta la estructura; pero entre éstas al lado de las favorables, existen otras no favorables que es preciso equilibrar en pura pérdida. El perfeccionamiento evolutivo consiste en eliminar estas últimas para equilibrar estrictamente las acciones iniciales.”

“Este sentido de lo estricto —supresión de lo accesorio en la obra definitiva y a lo largo del proceso constructivo— elimina radicalmente lo decorativo, partiendo de lo funcional llegamos directamente a lo estructural.”

“La materia organiza sus formas de un modo natural y económico, por consiguiente: plenas de belleza, tensas de utilidad.”

En ambos casos analizados, tanto en las máquinas como en la arquitectura del ingeniero, llegamos a un resultado análogo, que podemos resumir así:

La persistencia de las funciones a lo largo del proceso formativo de una máquina o de un tipo de arquitectura, como núcleo alrededor del cual se congrega la materia y la plasticidad que ésta adquiere virtualmente en la serie sucesiva de realizaciones, permite considerar este proceso como la evolución —interpretada y guiada por el ingeniero— de un organismo que se desarrolla de modo natural bajo la acción de fuerzas físicas externas.

Desde este punto de vista, la obra de ingeniería parece independiente del hombre, del ingeniero que la construye. Por sucesivos ajustamientos en lo natural se fiscaliza, toma “carta de naturaleza”, conformándose en ella; pudiendo desembocar, si se logra, la formosidad en hermosura, belleza; aunque también pudiera malograrse terminando por deformidad, en fealdad.

* * *

Pero este punto de vista de la naturalización de la obra ingenieril es incompleto y hay que complementarlo con el que proporciona la visión desde dentro de la producción de la obra, tomando el puesto del ingeniero que la realiza. Pero antes de encauzarnos en esta segunda línea de análisis vamos a dejar la primera definitivamente esclarecida a través de la figura de Eiffel, uno de los más grandes ingenieros del siglo XIX y de todos los tiempos.

Para esto vamos a seguirle en una de las trayectorias más brillantes de su carrera, la invención de las pilas de viaductos ferroviarios de gran altura, que culminará en la realización de su torre. Parte de las pilas de los acueductos resueltas desde los romanos en fábrica, con sección rectangular, que aumenta desde coronación a basamento, de un modo continuo o con escalonamientos como en Tarragona y Segovia. Al pasar a estructura metálica, establece una primera mediación adoptando pila mixta, de fábrica en la parte inferior, y metálica en el resto; concentrando el volumen resistente en cuatro cordones que materializan las aristas inclinadas, enlazados entre sí por barras horizontales formando recuadros, y cruces de San Andrés que los arriostran en las cuatro caras y en todos los planos horizontales de la retícula. En sucesivas realizaciones reduce la altura de la fábrica al nivel máxi-

mo de las aguas, con lo cual, sólo aparece ésta en las del centro del río, destacándose las demás pilas totalmente metálicas desde cimientos, como ménsulas verticales que tienen que resistir los esfuerzos horizontales del viento contra el dintel del viaducto y contra su propia trama.

Esto lleva a un nuevo modo de ver la estructura pila, pues en las de fábrica los pesos de pila y dintel, que son determinantes, al combinarse con los empujes del viento dan resultantes inclinadas que se encauzan dentro de la corporeidad de la fábrica. En la pila metálica esto no puede lograrse, pues frente a lo reducido del peso propio, el viento se destaca como fuerza prepotente y avasalladora transformando el pilar en ménsula como acabamos de indicar.

“El viento que nunca duerme”, como dijo Federico García Lorca, sale al encuentro del ingeniero cuando se encarama a las alturas que dominan el paisaje donde va a proyectar su obra, y se hace agresivo cuando se sitúa con el taquímetro para tomar los datos topográficos, complicándole en construcción el montaje de los elementos de su estructura, y a veces, cuando la obra se ha hecho ya independiente, el ingeniero la imagina resistiendo “el viento que furioso muerde”.

Fue Eiffel el primer ingeniero que se hizo cuestión del viento como elemento agonista en esta composición dramática que es la redacción de un proyecto estructural; iniciando el dominio del tema al conseguir la cuantificación numérica de su acción, para llegar después al cálculo de sus esfuerzos y, por último, al diseño de las formas más adecuadas para resistirlo: las de igual resistencia a la flexión, formas que empezó a estudiar Galileo.

Volviendo a las pilas de los viaductos caladas al máximo para ofrecer el mínimo obstáculo al viento y concentrar sección y rigidez estrictas en las barras de la retícula, encontró Eiffel que la conjunción de los cuatro cordones inclinados, esquematizando las aristas de las pilas de fábrica, daban poco aumento de resistencia y estabilidad al rebasarse una cierta altura, y era preciso acelerar este incremento en la zona inferior, lo cual ensayó primero quebrando los fustes mediante introducción de cordones también rectos, pero más tendidos al llegar a las bases, terminando así el contorno con acartelamientos rectos en estas zonas; pero en las realizaciones de máxima altura esto no bastaba y llega a la solución definitiva ensanchando las bases mediante incurvación de los cordones principales, con la concavidad hacia el exterior. Estamos llegando a la Torre Eiffel.

Esta torre, a la que dan su nombre, es la culminación del proceso evolutivo de las pilas de sus viaductos. El haber plasmado su morfogénesis, paso a paso, le da la oportunidad de ser el único ingeniero capaz de hacer frente al reto lanzado a la ingeniería mundial, desde Estados Unidos, al comenzar el segundo tercio del siglo XIX: conseguir una torre de 1.000 pies de altura, reto que recogió de un modo definitivo la Exposición Internacional de 1889. Eiffel llegó verdaderamente puntual a este acontecimiento, tuvo su *kairos*, como dirían los griegos, acontecimiento que suponía la ocasión de elevar el prestigio de Francia muy disminuido desde Sedan, conmemorando además el centenario de la toma de la Bastilla, símbolo del advenimiento de la Libertad. A posteriori, podemos afirmar hoy que las otras soluciones propuestas, metálicas o de fábrica, eran totalmente inapropiadas al caso.

Suprimido el dintel que tenían que soportar las pilas de los viaductos, la torre esquematiza su silueta con una individuación casi humana, simétrica respecto a un

eje vertical, pero no con la indiferencia de planta circular, sino cuadrifronte, con las cuatro direcciones de orientación del hombre en el Cosmos. Agudizándose hacia un espesor cero en el infinito inalcanzable de su coronación teórica y descendiendo majestuosamente al ampliar su latitud en doble silueta cóncava con cintura continua para que "la prendiera el viento". Delimita una superficie ahuecada para formar una A. imagen de actitud humana estable, que la travesía de esta letra todavía mejora.

En su diseño y cálculo enlaza los estudios de Galileo sobre directrices de igual resistencia a la flexión (siglo XVII) con los de La Hire y Poleni (siglo XVIII) en líneas funiculares de esfuerzos y los de Estática gráfica de Ritter y Culmann (siglo XIX), poniendo a punto métodos que han tenido poca variación posteriormente. El cálculo puro llevaría a curvas en todos sus contornos, pero Eiffel, gran constructor con experiencia directa de contemplar siluetas proyectadas sobre el cielo, establece variaciones de reajuste a líneas rectas y segmentos circulares, con pérdidas apreciables en su resistencia y estabilidad.

En la construcción de la torre se presentaron problemas completamente nuevos que resolvió a la perfección, pero además luchó contra la malevolencia e ignorancia de los hombres. Es bien conocida la reacción de los pseudointelectuales de la época contra la creación de la torre, cuando ya estaba elevándose sobre el suelo. Ninguna obra del hombre ha sido tan vituperada como ésta, en la soflama que determinó la reacción. Se la calificó de "vertiginosamente ridícula", y de "chimenea de odiosa sombra"; de "monstruo de maquinaciones mercantiles, que América misma no quisiera para sí", de ser "el deshonor de París" y, para colmo de inexactitudes, de "construcción inútil y dispendiosa." Se amortizó con los ingresos de los visitantes durante la Exposición y entre sus muchas utilidades ha servido de modo decisivo al desarrollo de todos los sistemas de comunicación humanos.

Eiffel contó con el apoyo de los hombres de Ciencia, con algunos intelectuales, entre ellos Zola, que se pasó del bando enemigo, y con el de las autoridades administrativas de la Exposición. Esto desde el principio, y después con la afluencia masiva de los visitantes que se encaramaban a la torre para gozar del espléndido paisaje que les descubría.

Creo que su autor jamás dudó de: la buena armonía de su torre con los otros monumentos de la ciudad citados como incompatibles por sus detractores, Notre Dame, las torres medievales, las cúpulas del siglo XVIII, etc.; que la ciudad no podía rechazar este mensaje de los valles y las montañas donde había ido formándose; y que además, era un producto cultural como todos ellos. Frente a tanto vituperio, terminaremos con el elogio de Apollinaire haciéndola: "Pastora del rebaño de los puentes de París, que saludan al amanecer con sus balidos".

Terminada su torre, la coincidencia casual de la catástrofe financiera de la Compañía del Canal de Panamá, donde era constructor de sus esclusas, debió influir en su decisión de abandonar toda actividad práctica para dedicarse exclusivamente a la investigación teórica, que fue muy fecunda, dada su longevidad, con inteligencia y voluntad siempre en activo. Y sus investigaciones estaban ya prefijadas, "prendido" y prendado de su torre, tomó el papel del viento, "galán de torres", identificándose con él para plasmar una de las aspiraciones más antiguas y permanentes de los humanos: la de volar sobre la superficie de la Tierra.

No tuvo necesidad de ser Pigmalion de su torre, que como ya hemos apuntado, vino al mundo con una intensa vitalidad continuamente renovada, y le ofreció su primera utilidad particular como laboratorio de investigación. Allí midió velocidades del viento a distintas altitudes, resistencia del aire en la caída de cuerpos diversos desde los 300 m de su altura, etc., estudios que fueron decisivos para la visión científica de la aviación; que luego amplió mediante los túneles aerodinámicos, donde resucitó los odres de Eolo con velocidad controlada, que le permitieron ensayar perfiles de alas y modelos reducidos de aviones completos. Una de sus últimas fotos, sosteniendo en sus brazos un modelo de avión para ensayar en túnel, es verdaderamente conmovedora.

* * *

Nos hemos demorado, quizá excesivamente, en la figura de Eiffel, pero nos ha servido no sólo para nuestro propósito de asistir a la fisicalización de un tipo estructural, adquiriendo belleza natural por evolución en contacto directo con la Naturaleza; sino que, además, nos ha abierto el segundo camino a recorrer, ya anunciado, para asistir a la realización de la obra desde dentro del ingeniero que la realiza.

Ahora vamos, pues, a analizar con el mayor detalle posible el acto poético que conduce a la obra de ingeniería, empezando por la fase del proyecto que es la más importante en lo que se refiere a creatividad.

Este proyecto se inicia en un paisaje, ante el cual se presenta el ingeniero, no con la simple finalidad de contemplarlo, sino para que le proporcione los datos (*datum*, lo dado) que necesita en su primera misión de formarse la idea más completa del proceso físico que allí está verificándose; y al conocerlo a fondo, poder modificarlo y obtener la utilidad tan necesaria para todos los hombres, incluido él. Exactamente, la fórmula de Conte: *savoir pour prévoir, prévoir pour pouvoir*; y esto viene siendo así desde que el homínido inició su transformación hacia *homo sapiens*, pasando por *homo faber*.

Si este paisaje tiene río y vamos a imponerle un puente, los datos que necesitamos son: la geometría del cauce, el régimen hidráulico desde estiajes hasta máximas avenidas, la geotecnia del terreno donde vamos a cimentar sus pilas y el proceso geomorfológico que acontece en aquella zona del río. Estrictamente necesitamos estos datos en la zona de encuentro río-camino, pero el estudio de la geomorfología nos lanza hacia el pasado del río para averiguar cómo ha sido su evolución natural, cómo ha ido conformando su propio lecho.

Además, el cálculo de los caudales es una incitación a remontar el curso del río, a descubrir que otros puentes romanos, medievales, renacentistas, etc. quedan alineados en la misma corriente y que otros hombres nos han precedido en análoga tarea. Así, del conocimiento del río en la zona del cruce y en la actualidad, que es lo que satisfaría al simple técnico, podemos pasar a la meta más ambiciosa del ingeniero, que es la de poseer la intuición completa del río, intimando con él para llegar por este camino al amor que nos humaniza. Decía Leonardo: "Il grande amore nasce de la grande cognitione de la chosa che si ama", y este grande amor legitima el fruto material de nuestra relación con las cosas.

Para conseguir que el puente quede en su día integrado en el paisaje total, el ingeniero ha de comenzar por incorporárselo, reteniéndolo en su imaginación como

fondo sobre el cual irá conformándose el puente en el desarrollo del proyecto, para que cuando éste se materialice, sea el paisaje el fondo definitivo desde el cual emerja físicamente el puente. Conseguiremos así una triple integración del puente, el hombre y el paisaje, pues el ingeniero, entre los realizadores, goza del privilegio de incrustar su obra en el mismo ámbito que la ha inspirado.

Desde el primer contacto nos pone en tensión el reto del paisaje, que además de impresionarnos casi siempre por su belleza o su grandiosidad nos impone las dificultades que tendremos que vencer en el proyecto y en la construcción; pero también nos pone en comunidad con los que ya resolvieron el problema antes que nosotros y cuyas obras nos aconsejan, tanto por su permanencia como por sus ruinas, obligándonos a realizar un puente que supere a todos los anteriores, y que, además, sea homenaje a nuestros antecesores, los cuales vencieron las dificultades con menos posibilidades de las que nosotros disponemos ahora, y esto, gracias a ellos que en su momento las acrecentaron.

Esas motivaciones que enderezan el proyecto, y la siempre presente voluntad de economizar por amor a la Naturaleza, son acicates suficientes para lanzarnos a la obra verdaderamente enfervorizados y dispuestos a dar de nosotros mismos todo lo que somos. Por otro lado, hay que suponer que el ingeniero tiene vocación de tal, o sea, que las cosas y procesos del mundo físico despiertan resonancias en su interior, y ponen en conmoción todas sus facultades: inteligencia sentiente, voluntad tendente y sentimiento afectante, que es lo que precisa la realización de un acto poético; o como antes se decía, poner en ello *toda el alma*, a lo que nosotros añadiremos *todo el cuerpo*, empezando por *exprimir los cinco sentidos*, lo cual también es expresión antigua, pues en la actualidad el número de sentidos ha aumentado notablemente.

Ahora es el momento de recordar algo, que ya hemos tratado en otra ocasión con más detenimiento, acerca de la evolución semántica de los términos *tékhné* y *ars*, que han dado lugar a los nuestros de técnica y arte; que, además, están en línea común, ya que el segundo, latino, es la traducción del primero, griego, que significaba un modo de *saber hacer* con fundamento ciertas cosas; en nuestro caso, ingeniería. El cotejo, desde origen, nos autorizó a ordenar todas las actividades artísticas desde la poesía hasta la ingeniería, con arreglo al grado de condicionamiento material de las mismas, que resulta inverso al grado de ficción, empezando por la poesía que únicamente precisa de la existencia de un lápiz y un papel para concretarse.

Volviendo a la ingeniería, nos encontramos con la aparente paradoja de que es el arte que más sentidos moviliza, pues corresponde al ingeniero poner en marcha vivencias estéticas creativas iniciadas en el sentido de la vista casi siempre en sinestesia con el del tacto al visualizar y modelar las formas geométricas y sencillas de nuestras estructuras; auditivas procedentes del rumor de nuestros ríos o del ritmo de los motores bien ajustados; vivencias cinestésicas, pues tenemos que habérnoslas con realidades de tipo dinámico como el viento, el fluir de los ríos, el del tráfico automóvil, etc.; de los sistemas de orientación, pues las acciones cósmicas, como las gravitatorias, meteóricas, etc., tienen vecciones determinadas; en las de los sentidos del equilibrio no hace falta insistir, pues aspiramos siempre a obtener sistemas equilibrados, pero no muertos, sino de fuerzas, en tensión, que, además, podemos experimentar en nuestros sentidos propioceptivos, pues en sus funciones

normales nuestros músculos se estiran, nuestros huesos se comprimen y nuestras articulaciones se retuercen; y, por último, nuestra cenestesia se revitaliza al encauzar procesos que, a veces, funcionaban de modo defectivo, por ejemplo, el tráfico en nuestras ciudades que las aqueja de una especie de arterioesclerosis.

A todas estas vivencias que determinan la posibilidad de la obra durante el proyecto, pues actualizan todos nuestros saberes utilizables en el mismo, hay que sumar otras sin relación directa, pero no del todo ajenas al proyecto, motivadas a lo largo de nuestra vida por fuertes impresiones emocionales y que no han terminado en expresión adecuada, es decir, no han cerrado el circuito normal de impresión-expresión, y presionan constantemente en espera de ocasión oportuna para exteriorizarse; a las que hay que añadir un tercer grupo procedente de nuestro inconsciente, y que son, además, las que suministran la energía necesaria para los distintos actos.

Este conjunto de vivencias quedará materialmente plasmado en la obra al construirla, definiendo patrones perceptivos, que tendrán vigencia para todo contemplador o usuario que le impresione, y le llevarán, a partir de la afección de sus sentidos, a la recreación parcial de las vivencias creadoras, desembocando, finalmente, en estados emocionales análogos a los que experimentó el autor mismo al proyectar la obra.

Por ejemplo, al recorrer aristas vivas y superficies geométricas destacadas en el espacio y en vilo sobre el agua o sobre el tráfico su materia tensa y elástica, puede experimentarse la vivencia que expresa Neruda en su poema al puente de la Barra Maldonado, en Uruguay: "hoy ondula la fuerza de la línea —la flexibilidad de la dureza—, la obediencia del material severo".

Y volvemos a advertir que, como en todo lo ingenieril, estas emociones de que hablamos son verdaderamente franciscanas en sencillez y pureza, aunque potentes; pero sea sólo a ráfagas, si podemos llegar al utilizador y proporcionarle fruición, habremos aportado nuestro grano de arena al enriquecimiento del mundo.

Insistiendo aún en lo poyético del acto que conduce a la creación de cosas artificiales, encontramos que en nuestro caso del ingeniero, como en el de cualquier profesional, es la ocasión de serenarse por contacto directo con cosas materiales, pues en seguida veremos que se produce un efecto catártico al aquietar en la obra la tensión de nuestro ánimo. Aparece aquí el término *tensión* tan familiar para el ingeniero (pertenece a las disciplinas de Resistencia y Electricidad), pero ahora aplicado a algo psicobiológico y es efectivamente el *stressing* (*stress* = tensión) tan manejado en algunas teorías al comportamiento humano, particularmente en las de procedencia psicoanalítica.

Es la situación interna a que nos lleva el conjunto de vivencias que hemos ido enumerando y que, en definitiva, representa el desajuste entre el hombre y el medio, o mejor que el medio, la circunstancia, de Ortega. Este desajuste, siempre presente en todo hombre "que vive", se acentúa transitoriamente cuando la situación le obliga a proyectar algo.

El aquietamiento del ánimo, apuntado ya, que se consigue al llegar con éxito al término del acto poyético, toma carácter más ajustado y directo en el caso del acto ingenieril, al existir esa correlación que denuncia el empleo duplicado del término tensión, en lo mecánico y en lo psicobiológico. El fin concreto que se persi-

que a lo largo de nuestro proyecto es obtener un equilibrio entre fuerzas físicas: peso de los elementos constitutivos de la obra, cargas de servicio, acciones de los procesos meteóricos; equilibrio que ha de establecerse a través del espacio físico determinado por la materia de la obra, la cual ha de tener aptitud para resistir los esfuerzos correspondientes. El estado tensional que se consigue en dicho espacio puede definirse por las líneas de fuerza del campo, que son las denominadas *isostáticas* en la teoría de las estructuras resistentes.

Pero, paralelamente a esto, en el espacio neuronal constitutivo de nuestra corteza cerebral, que es también un espacio físico donde quedan materialmente registradas las huellas del paso de todas nuestras vivencias, se va produciendo, al poner en marcha las nuevas y recordar las antiguas un campo tensional que puede tener definición geométrica según la teoría que se considere para explicar la memorización. Por ejemplo, si adoptamos la de los circuitos neuronales autorreverberantes, tendremos circuitos de mayor facilidad para ponerse en vibración siguiendo los itinerarios que van quedando abiertos al paso de las vivencias iniciales y de las recordadas, que dejan rastro en razón del tiempo de reverberación acumulado y del grado de emocionalidad de la vivencia. Estos circuitos se sobrecargarán de energía para transmitir información, es decir, se pondrán en tensión, destacándose del volumen total definiendo un plexo de líneas de acción. No podemos detenernos a aclarar la correlación de tensiones, esfuerzos, fuerzas y energías.

Teniendo en cuenta que en ese espacio existe un número de neuronas del orden de 5×10^9 , y que cada una puede establecer conexiones (sinapsis) con las contiguas del orden de 6×10^4 , el número de circuitos que pueden utilizarse para registrar información y transmitir órdenes a los centros receptores es tan elevado, que no podrán funcionalizarse sino en una pequeña parte durante la vida de cualquier hombre.

La actividad de cada uno de estos circuitos pone, además, en vibración una serie de circuitos afines, que aportan nuevas informaciones, pero además pueden imbricarse entre sí, dando origen a nuevas relaciones entre los elementos informativos, en lo cual reside principalmente la creatividad de las operaciones mentales.

Tenemos así dos campos tensionales: el de huellas némicas actualizadas dentro de nuestro cerebro y el de las isostáticas en el volumen resistente de la estructura ingenieril, pues como ya hemos expuesto, al comenzar nuestro proyecto se pone en tensión nuestra mente mediante la reverberación de los circuitos que corresponden a las vivencias propias del proyecto, y los de engramas anteriores.

En el grupo de vivencias directamente relacionadas con el proyecto existe un intercambio casi isomórfico de equilibrios, relajándose de un modo prácticamente total las tensiones internas localizadas en los circuitos de nuestro cerebro. En cuanto a las vivencias arrastradas obtendremos la relajación correspondiente al darles cauces de expresión; pero, además, al expresar algo el hombre se expresa a sí mismo, y se autoafirma al verse en la obra que realiza. Otro tanto ocurre con las vivencias neutralizadas en el inconsciente; tal es el caso concreto, que ya he tratado en otras ocasiones, de la superación de un terror infantil adquirido al contemplar el Ebro en avenidas desde los puentes de mi ciudad natal, neutralizado al realizar mi vocación de constructor de puentes.

En esta correlación de equilibrios en tensión, si el éxito nos acompaña, conseguiremos traspasar nuestra tensión psicobiológica a nuestra obra, que se incorpora al

dinamismo cósmico, es decir, depositamos en la materia algo de nuestra intimidad, superando la antinomia de espiritualizar la materia, materializando nuestro espíritu. Todo creador descansa en su obra terminada, desde el Supremo Hacedor hasta cualquier simple mortal que ha conseguido llevar a feliz término su obra. Además, este equilibrio que consigue asegurar para sí el ingeniero, como premio a su esfuerzo, no queda en un solipsismo egoísta, sino que puede ampliarse a los demás hombres que también están sometidos al *stressing* proveniente del mundo en que vivimos, reforzado en cada cual por el de sus vivencias particulares.

Resumiendo lo obtenido hasta ahora en cuanto a la estética de las artes del ingeniero, lo más importante es la derrocaión del axioma de incompatibilidad entre utilidad y belleza, pues, como hemos visto, la obra del ingeniero desemboca necesariamente en el ámbito estético, donde ha de incorporarse a las cosas bellas, o a las cosas feas, sin poder quedarse neutra ante el dilema. Además, a esto llega por dos líneas diferentes igualmente exigitivas: la de la belleza natural, al acoplarse en la Naturaleza por ajustamientos sucesivos, y la de la belleza artística como término de un acto poético auténtico igual que en cualquiera de las obras de las artes actuales.

* * *

Parece que hemos llegado a una intimación con el mundo físico, al conseguir la transmisión de algo psicobiológico nuestro a la estructura material de nuestra obra, lo que supone la relación plenaria entre una esencia abierta, el hombre, con las esencias cerradas de las cosas que le rodean. Esto nos daría, por un lado, la fundamentación última de la técnica, y por otro, la de que, en definitiva, el hombre pueda realizarse a costa de ella, siempre que nos aseguremos de modo más inmediato y general de la posibilidad de penetración del hombre en el mundo físico; realidad que algunas veces nos aparece verdaderamente hermética, por ejemplo, cuando queremos lograr una intuición acerca del comportamiento de los aceros a temperaturas por bajo de los — 100°, lo cual ocurre en algunos procesos industriales.

Para esto recurriremos al concepto zubiriano de relación de *homogeneidad del hombre con el mundo físico*, diluido ya en algunas descripciones de este trabajo; concepto que creemos puede tener gran interés para la fundamentación de la estética en general, pero sobre todo en la estética de las artes del ingeniero, sustituyendo al del *einthülung*, traducido por consentimiento estético, endopatía, etc., desacreditado en la actualidad, pero que estuvo floreciente con Volkelt, los Lipps, etc., a finales del siglo pasado y comienzos del actual. Mediante el concepto que proponemos puede establecerse la mediación del cuerpo humano, el cual es realidad física en parte, estableciendo puente entre las dos realidades que intervienen: mundo físico, de un lado, y realidad humana, de otro.

Nuestro aparato sensorial está organizado en una estructura como las del mundo físico. Incluso nuestra psique ocupa, por circunscripción, un espacio físico, el de nuestro propio cuerpo. Estamos sometidos a la gravitación universal y cualquier acto por muy espiritual que sea requiere un gasto de energía. Sentimos la presión de nuestra sangre en las venas, y el ritmo de nuestra respiración, lo que nos conjuga con el ritmo de los días y las noches, el de las estaciones, el fluir de los ríos y la alternancia de las mareas. Al construir puentes podemos llegar a sentir los ríos como nuestras propias venas y, al mismo tiempo, incorporamos a nuestra intimidad

la canción del agua que pasa por debajo de todos nuestros puentes, agua que seguirá pasando cuando nuestro cuerpo retorne a la tierra. En definitiva, al ser extensos, tempóreos y noérgicos, participamos del acontecer cósmico, en cuyo dar de sí se instala nuestra obra.

Pero nuestra obra artificial procede de las cosas naturales que nos son dadas, las cuales nos proporcionan, además, la pauta de lo que tenemos que hacer en nuestra obra, pues ejemplifican la ley natural, a la cual tendrá que ajustarse la obra si va a permanecer en el mundo físico. Pero esta ley natural vale también para nuestro propio cuerpo, con lo cual volvemos a una triple implicación, ahora más general que la encontrada en el caso del puente: del mundo físico, de nuestra obra y de nuestra persona.

La misma relación de homogeneidad que vemos hace posible el acto de creación, posibilita también el de recreación, pues mediante su cuerpo el espectador puede penetrar en la obra, que tiene ya corporeidad física, tectónica. Y, además, la corporeidad es un llamamiento a lo estético. Existen términos que tienen validez en los tres ámbitos donde nos movemos; el físico-mecánico, el psico-biológico y el estético; y en otros casos, se pasa gradualmente de un ámbito a otro mediante términos en correlación escalonada como: equilibrio, serenidad, armonía; estática, mismidad cenestésica, estética; dinamismo, vitalidad, ritmo, etc.

Decía al comenzar que el ingeniero es el hombre tenso por deformación profesional. Por eso, su mensaje es el del equilibrio, y no es que el ingeniero reparta equilibrio porque le sobra, sino que lo ha buscado previamente porque está deficiente de él, lo necesita como cualquier otro ciudadano, y quizá más. Un equilibrio dinámico y orientado, horizontal y vertical. Para la dirección horizontal ha inventado el artificio del puente, y para la vertical, el de la torre.

El hombre se ha orientado siempre desde el mar o desde la llanura por los picachos o las crestas que le señalan verticalidad. Ahora, además, son las torres de los faros, desde el mar, y, en el interior, las simples chimeneas o las torres de la televisión, que con su verticalidad mantenida en cientos de metros ordenan y dan serenidad al paisaje urbano o al industrial.

Y también los rascacielos, que si bien pueden destruir la armonía de las playas, dan orden y equilibrio en las monstruosas aglomeraciones urbanas. Yo recuerdo con emocionado agradecimiento los rascacielos de Manhattan como gigantescos pisapapeles cósmicos que me extirparon la obsesión de *hoja al viento* después de una larga y complicada travesía aérea; luego, los de fachadas transparentes en superficies curvas tipo Eiffel, que me curaron del complejo de *licenciado Vidriera*, adquirido en el interior de las catedrales góticas, y, últimamente, las dos torres gemelas del World Trade Center, dióscuros de la sencillez, frente al barroquismo falso de la estatua de la libertad.

Y para terminar, volviendo a origen, quiero dejar bien sentado que el ingeniero busca exclusivamente la utilidad tan necesaria para él y para sus semejantes, coincidiendo en esto con el final del poema de Neruda, que dice así:

*este puente que hace honor al agua,
ya que la ondulación de su grandeza
une dos soledades separadas
y no pretende ser sino camino.*