

EL DISSENY, COM UNA MANERA D'OBVIAR AL FRACÀS

HENRY PETROSKI



HENRY PETROSKI

Professor d'Enginyeria Civil i Director del Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental a la Duke University. És autor de *The Pencil: A History of Design and Circumstance* (1950), *Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design* (1985) i *Regarding Artifacts: Their Invention and Evolution* (1992).

Profesor de Ingeniería Civil y Director del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental en la Duke University. Es autor de *The Pencil: A History of Design and Circumstance* (1950), *Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design* (1985) y *Regarding Artifacts: Their Invention and Evolution* (1992).

Professor of Civil Engineering and Chairman of the Department of Civil and Environmental Engineering at Duke University. He is the author of *The Pencil: A History of Design and Circumstance* (1950), *Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design* (1985) and *Regarding Artifacts: Their Invention and Evolution* (1992).

RESUM

Evitar sistemàticament el fracàs és allò que caracteritza el disseny racional. Per això els estudis històrics de casos de fracàs són plens d'una informació important per a l'èxit del disseny, i el dissenyador que desconegui la història dels fracassos corre el risc de repetir vells errors. En comptes de ser debatuts d'una manera merament general en aquest assaig, les idees corresponents són examinades en el context de l'exemple específic dels ponts en l'enginyeria estructural.

INTRODUCCIÓ

El problema d'enginyeria estructural propi de dissenyar un pont ens pot servir no sols com a paradigma, sinó com a metàfora per a qualsevol problema de disseny. La necessitat o almenys el *desig* de construir un pont s'esdevé primer, i no pensant gairebé mai en un dissenyador determinat. Alguna persona, algun grup o alguna comunitat cospa normalment la necessitat de construir un pont perquè allò que fa un pont —que el trànsit es mogui eficientment, amb seguretat i fiabilitat, del punt A al punt B, qualsevol que siguin els obstacles o els impediments que hi pugui haver entre aquests dos punts— no és res que es pugui fer amb els mitjans o els procediments ja existents.

La necessitat d'un pont defineix un problema de disseny que es planteja de seguida als qui estan acostumats a tractar d'aquests problemes, els dissenyadors de ponts. Els qui plantegen el problema reconeixen implícitament, si no explícitament, que els problemes de disseny no tenen solucions úniques i que sovint es fa un concurs de disseny. Els qui volen que es construeixi un pont especifiquen les seves funcions i delineen les exigències que defineixen les dades específiques per a cada problema del pont: on s'ha de construir, quin trànsit haurà de suportar, quina alçària pot tenir, com ha d'encaixar amb la infraestructura existent, etc. Aquí és on el dissenyador acostuma a començar a treballar i, fins i tot si les restriccions socials, ergonòmiques i ambientals no s'imposen explícitament a la definició del problema del disseny, el dissenyador les veurà com a aspectes autoimposats, naturals i desitjables de qualsevol solució. Per a aconseguir un èxit veritable, qualsevol disseny no ha de deixar de complir tots els requeriments i totes les restriccions explícits i implícits. El problema del disseny és, doncs, fonamentalment, el problema d'anticipar el fracàs i d'obviar-hi.

EL PROCÉS DEL DISSENY

Donat el problema, definit en termes de dades sobre l'emplaçament, les necessitats circulatòries de trànsit, l'ambient i unes altres qüestions pertinents, com, *de fet*,

hom dissenya un pont? Segons Fritz Leonhardt, un enginyer de ponts alemany destacat:

Les dades [...] han de ser completament assimilades i tingudes en compte. El pont ha de prendre, aleshores, la seva forma en la imaginació del dissenyador. Perquè aquest procés s'esdevingui, el dissenyador hauria d'haver vist i estudiat primer de tot i a consciència molts ponts en el curs d'un llarg procés d'aprenentatge. Hauria de saber [...] quan és adequat un pont de travesses, un pont d'arcs o un pont penjant (LEONHARDT, 1984 : 32-33).

És com si el dissenyador fullegés el catàleg que la seva ment ha acumulat durant llargs anys d'experiència, gairebé de la mateixa manera que els primers dissenyadors de màquines consultaven els catàlegs sense text de mecanismes descrits per FERGUSON (1977 : 827-836) i que els dissenyadors d'avions estudiaven els de les superfícies sustentadores descrites per VINCENTI (1986 : 717-758).

El dissenyador de ponts reconeix que tindrà l'avantatge de poder recórrer a l'experiència, però també que cada pont és únic en el sentit que descansa sobre uns fonaments damunt dels quals cap més pont no descansa i que existirà en un context social, ergonòmic i ambiental que el mateix pont canviarà. Així, segons Leonhardt, després que els esbossos ideats pel dissenyador hagin estat dibuixats i criticats en relació a l'adequació del pont amb el lloc i la funció, l'enginyer de ponts es comporta com un artista amb els seus estudis i esbossos preliminars:

El dissenyador s'ha de tancar ara amb aquests primers resultats, reflexionar-los, pensar a fons el seu concepte i concentrar-s'hi amb els ulls tancats. Se n'han satisfet tots els requisits, serà una bona construcció? Aquest o aquell no tindria un aspecte millor, o no seria millor si hi afegíssim detalls posteriors? (LEONHARDT, 1984 : 33).

Només després de «diverses [...] fases de correcció» comencen veritablement els càlculs seriosos i

en primer lloc, amb simples i rigoroses aproximacions, es comprova que les dimensions assumides eren suficients [...] Després es poden fer pràctiques amb programes moderns d'ordinador, usant profunditats diferents o unes altres variables per a trobar les dimensions més econòmiques; aquestes, però, només han de ser escollides si no afecten els altres requisits essencials, com ara l'estètica, la longitud dels accessos, els pendants, etc. (LEONHARDT, 1984 : 34).

Encara que un esforç organitzat d'enginyeria es consumeix en els càlculs analítics de les pressions, de les desviacions i d'unes altres mesures quantitatives de rendiment o de límits de rendiment que podrien definir-se com a «fracassos» hipotètics (VINCENTI, 1986 : 717-758), el procés del disseny és sobretot creatiu i no pas deductiu, i

en aquest sentit no és gaire diferent d'escriure o de qualsevol altre acte creatiu (PETROSKI, 1985).

És evident que l'elecció genèrica qualitativa és allò que constitueix l'aspecte inicial creatiu i intuïtiu del disseny d'un pont, mentre que els càlculs i els còmputos vénen després; i això és vàlid per a tots els dissenys. J. E. Gordon, el reflexiu enginyer britànic d'avions, ha escrit:

Ni la matemàtica ni les fórmules dels manuals no ens «dissenyaran» una estructura. Hem de dissenyar nosaltres mateixos a la llum de l'experiència, la saviesa i la intuïció que puguem posseir. Quan hàgim fet això, els càlculs analitzaran el disseny per a nosaltres i ens diran, almenys aproximadament, les pressions i les desviacions que podem esperar (GORDON, 1981 : 375).

Així que el dissenyador, que pot competir amb uns altres dissenyadors perquè els qui necessiten o desitgen que es construeixi un pont l'aprovin i l'encarreguin, sap que el dissenyador serà ell, aleshores comença el procés de «deltallar». Aquest és un procés que, sobretot en casos de grans projectes com els ponts, poques vegades exigeix una única persona, sinó més aviat un autèntic exèrcit per a atacar l'enemic del disseny en totes les seves manifestacions. I l'enemic del disseny és el fracàs. I aquest pot esdevenir-se no solament en la forma d'un col·lapse catastròfic, sinó també en la ineficàcia, la impropietat o simplement la incapacitat per a treure partit dels fenòmens de la naturalesa en el grau màxim considerat possible en qualsevol moment donat.

ELS DISSENYS REEIXITS NO FRACASSEN

Implícita en tot disseny hi ha l'assumpció que, en totes les condicions raonables o fins en un nivell esperat de fiabilitat, l'objecte dissenyat funcionarà com fou dissenyat i *no deixarà de fer-ho* ni funcionalment, econòmicament, estèticament, socialment, ergonòmicament; ni des del punt de vista ambiental, ni en qualsevol altre dels seus aspectes. Aleshores el problema del dissenyador es redueix, realment, a comprendre el fracàs, perquè el dissenyador ha d'anticipar de quina manera la seva creació *pot* fracassar a fi d'evitar tal fracàs. Si hi ha una sola manera de fracassar o un sol escenari de fracàs que no hagi estat correctament previst pel dissenyador i al qual no hagi obviat, tot el disseny corre perill.

Un disseny és una hipòtesi, i tal hipòtesi pot ser examinada, però mai no comprovada absolutament (PETROSKI, 1985). Així que el disseny existeix sobre el paper, com Leonhardt i Gordon descriuen, aleshores el procés d'anàlisi pot començar. I la finalitat de l'anàlisi és *verificar* la hipòtesi que el que han produït la imaginació i l'experiència del dissenyador *no fracassarà*. Per a fer-ho, el dissenyador (o, en aquesta etapa, l'«analista») ha de comprendre *com* poden fallar les estructures. Ha de fa-

miliaritzar-se amb les *maneres de fracassar* tan a fons com amb els seus dissenys anteriors perquè, per a poder verificar que el seu disseny no fracassarà, ha de poder detectar el tipus de fracàs a què els seus càlculs s'apliquen.

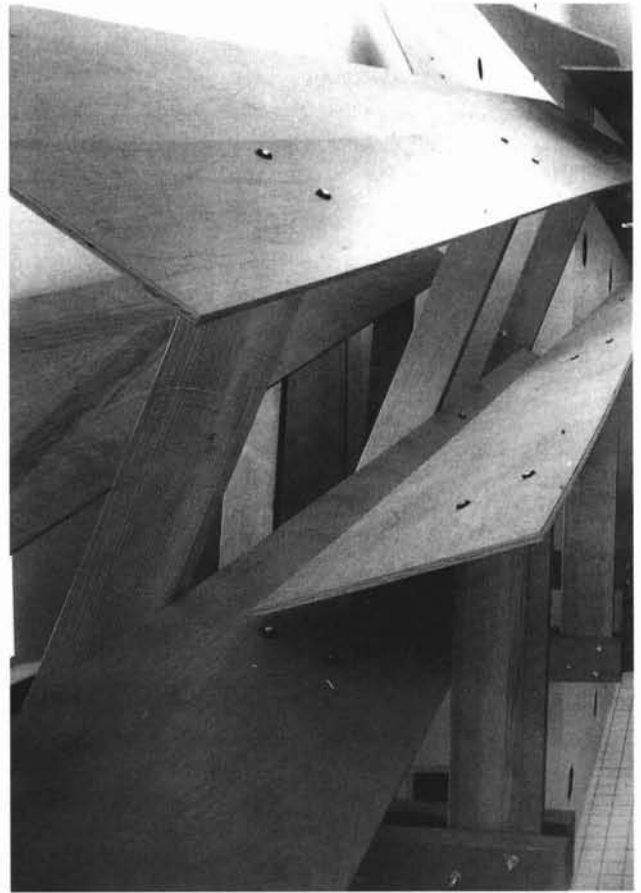
El dissenyador reeixit obviarà a tots els tipus creïbles de fracàs si fa la seva estructura prou rígida i prou forta per a resistir qualsevol tempesta, sigui real o metafòrica. Comprendrà les càrregues i les forces estructurals a què estarà subjecta la seva estructura, les esperances socials dels seus usuaris, els factors ergonòmics del seu disseny i l'ambient en què la seva estructura passarà la vida que l'espera. Infravalorar la magnitud, la importància o la interacció entre qualsevol d'aquests factors equival a invitar el fracàs. Com que el pronòstic és tan difícil en el disseny de ponts o en qualsevol altre aspecte de la vida, els dissenyadors reeixits evitaran el fracàs utilitzant diversos mitjans de prevenir-lo i incorporant als seus dissenys factors de seguretat, redundància, recursos de manteniment i adaptabilitat.

Els qui més han après dels fracassos soferts són els qui tenen més probabilitats de preveure i, per tant, d'obviar als fracassos dels seus propis dissenys. De la mateixa manera que el dissenyador experimentat sap quan un pont de travesses d'arcs penjant resol més bé un problema determinat de disseny, així l'analista experimentat sap quan la inclinació, la torsió, el bombament, la fatiga o qualsevol altre tipus de fracàs amenacen més l'èxit d'un disseny.

I, en el cas dels dissenys monumentals com els grans ponts, rarament existeix l'oportunitat de sotmetre l'estructura a una comprovació definitiva, sigui filosòficament o estructuralment. Filosòficament, mai no hi pot haver la *prova* que tots els possibles perills de fracàs han estat pensats, i encara menys analitzats. I, estructuralment, la prova que *demonstraria* absolutament la correcció de tots els càlculs relatius a la resistència màxima de l'estructura seria, per definició, destructiva. En els dissenys que no són únics, com els de les màquines produïdes en sèrie, un procés d'aprenentatge que inclou fracassos de components o d'unitats pot conduir a la «perfecció» d'un disseny, però en el cas d'estructures úniques de l'enginyeria civil, com ara ponts, o d'estructures de l'enginyeria aeronàutica, com ara els transbordadors espacials, les lliçons que s'aprenen per mitjà de fracassos catastròfics són doloroses i, realment, afegitons imprevistos als canons de l'experiència.

ALGUNS EXEMPLES HISTÒRICS

La història dels ponts ofereix un bon exemple del paper exercit pel fracàs en el disseny reeixit (PETROSKI, 1985). Els primers ponts eren de fusta i pedra i, en general, el seu disseny anava evolucionant gràcies a l'experiència adquirida amb el mètode d'anar provant. Si una certa mena de pont funcionava en un lloc determinat, el seu disseny era copiat per a usar-lo en un altre lloc. Però, si



Detall de «Charpante» en fusta, d'un projecte de Frank Israel a Califòrnia.

Detalle de «Charpante» en madera, de un proyecto de Frank Israel en California.

Wooden detail of «Charpante», from Frank Israel's project in California.

el primer estava situat en un indret d'aigües més aviat tranquil·les i el segon en un lloc amb corrents difícils i ràpids, les bases del pont nou aviat eren soscavades i el disseny del pont, segur al primer indret, fracassava al segon. El disseny no és gairebé mai una cosa tan fàcil que l'èxit d'una situació pugui traslladar-se a una altra. Però a cada pont perdut s'aprenéu una lliçó més sobre com podria fracassar un pont, i el pròxim podia ser més fort a causa de la insuficiència de l'anterior. No reconèixer les possibilitats de fracàs que potser eren inexistents o latents en les situacions anteriors pot conduir al desastre en una nova situació.

El primer pont de ferro fou acabat l'any 1779 a Coalbrookdale, situat on aleshores era el centre de la Revolució Industrial de l'oest d'Anglaterra. De fet, l'èxit de la indústria del ferro a la regió fou tan gran, que la manera tradicional de travessar el riu Severn amb un transbordador va ser considerada un obstacle per al comerç. La idea de construir un pont per damunt del riu en aquell lloc havia sorgit anys abans, però els mètodes tradicionals del moment per a la construcció de ponts requerien unes obres de reforç que haurien destorbat el moviment de barques al riu i, per tant, eren inacceptables. Encara que un disseny de pont susceptible d'èxit havia de superar nombrosos obstacles tant de tipus tècnic com d'uns altres tipus (PETROSKI, 1987), el disseny finalment adoptat va ser tan encertat que el pont encara existeix avui dia i admet el trànsit de vianants.

Fent servir armadures de ferro colat de dimensions sense precedents, els dissenyadors de l'Iron Bridge van poder construir un arc de cent peus sense les bastides de fusta tradicionals necessàries per al procés de col·locar una pedra damunt l'altra fins que el conjunt formi un arc que se sosté tot sol. A més a més, com que les armadures de ferro en forma d'arc obert permetien que un riu cabalós passés lliurement, hi havia menys probabilitats que l'aigua s'emportés el pont. Iron Bridge tingué certament els seus petits revessos, com ara haver d'assegurar-ne els fonaments, però això s'esdevenia lentament i servia d'avís perquè hom els anés afermant. Les deficiències foren corregides ràpidament perquè eren interpretades com a potencials riscos de fracàs que no havien estat obviats correctament al principi pels constructors.

Iron Bridge tingué un èxit enorme per la seva novetat, principalment perquè imitava el pont d'arc de pedra més perfeccionat i el ferro colat era una matèria tan bona com la pedra més ben fixada. Això no obstant, mentre el ferro anava evolucionant com a matèria per a la construcció per dret propi, hi hagué nombrosos dissenys fracassats perquè intentaren beneficiar-se de la resistència del metall a la tensió. I aquest problema encara continua avui dia quan s'utilitzen aliatges nous, tècniques de fabricació noves i dissenys estructurals nous amb la intenció de treure partit dels avantatges nous que se suposen en els materials nous. Però, com ocorre sovint, alguns dissenyadors excessivament optimistes tendeixen a passar per alt qualsevol deficiència —mal coneguda— d'un material nou, un procés

nou o un disseny nou i, per tant, tendeixen a minimitzar o a deixar de banda completament els riscos de fracàs nous o poc coneguts (FISHER, 1984).

EL CAS DELS PONTS PENJANTS

El disseny de ponts també avança, ja que accepta reptes cada cop més ambiciosos. Fa dos segles, els ulls dels ponts van ser mesurats —més ben dit, somniats— en centenars de peus. Avui dia hi ha ulls de pont d'una milla entre les torres de suport i de dues milles als fulls de dibuix, i encara més a les ments dels enginyers. Amb tot, aquests símbols de les proeses de la tecnologia moderna no s'aconseguien sense entrebancs i la història dels ponts penjants és plena de les runes dels que s'enfonsaren. En general, molts d'aquests fracassos no són del domini públic i només els coneixen els enginyers d'estructures i els historiadors de la tecnologia. Una excepció notable és el Pont Tacoma Narrows: els enginyers no pogueren fer gaire cosa més que filmar el pont mentre es torçava durant la ventada de 1940. De fet, els enginyers d'aquella època, encara que practicaven a consciència les normes del seu art, cometeren l'imperdonable error de disseny de no conèixer la història dels fracassos relatius al tipus d'estructures en què treballaven.

Els ponts penjants sempre han estat notablement flexibles, i els fràgils ponts per a vianants que de vegades trobem a les muntanyes on van els nostres fills en els camps d'estiu ens en forneixen una experiència de primera mà. Els ponts més grossos que es van començar a construir a començaments del segle XIX eren susceptibles d'esfondrar-se sota la marxa rítmica dels soldats, la cadència dels quals corresponia a la freqüència natural del mateix pont. Encara avui persisteix la superstició que els soldats han de trencar el pas quan passen per *qualsevol* pont, fins i tot els de massissos arcs de pedra, i a l'Albert Suspension Bridge que travessa el riu Tàmesi a Londres hi ha un rètol a l'entrada que ho adverteix.

John Roebling, el gran dissenyador de ponts suspesos del segle XIX, i el seu fill Washington, que supervisà la construcció del disseny del seu pare per al pont de Brooklyn, interpretaren el fenomen de l'esfondrament com a conseqüència de vibracions ressonants. En el pas estret de construcció al costat del pont hi col·locà el rètol següent (McCULLOUGH, 1972 : 420):

SEGUR PER A NO MÉS DE 25 HOMES
A LA VEGADA. NO CAMINEU JUNTS.
NO CORREGUEU. NO SALTEU. NO TROTEU.
TRENQUEU EL PAS!

Però Roebling pare comprenia que no podia establir reglaments per a les forces de la naturalesa i que l'única manera de construir un pont penjant més llarg i més rígid

era comprendre com i per què els ponts anteriors havien fallat. Un problema especialment difícil de superar foren els vents forts, i Roebling escriví un assaig el 1841 en el qual descriví diversos fracassos famosos de ponts suspesos per culpa del vent. Després de moltes pàgines en què va descriure les vicissituds de la construcció de ponts, va tancar el seu assaig amb una disculpa:

Les observacions precedents [sobre problemes i accidents relacionats amb els ponts penjants] no s'han fet per a desacreditar els ponts penjants. Atribuir-me aquesta intenció seria injust. No hi pot haver un admirador més gran del sistema que jo mateix. [...] En parlar dels punts fluixos del sistema, només he volgut mostrar les precaucions que són necessàries en dissenyar i construir un pont penjant per a garantir-ne la seguretat (ROEBLING, 1841 : 196).

No solament el vent, sinó la naturalesa del trànsit que els ponts suspesos de mitjan segle XIX havien de suportar va fer que el disseny d'un pont reeixit esdevingués una empresa formidable. A mitjan segle, els dissenyadors tradicionals de ponts acceptaren el fet que no es podia fer un pont penjant de cinc-cents o mil peus de longitud que fos prou rígid per a suportar el pes concentrat de les locomotores ferroviàries, cada vegada més pesants, que aleshores es construïen. Els grans enginyers britànics, com Robert Stephenson i Isambard Kingdom Brunel, idearen mitjans complicats per a cobrir unes grans distàncies amb rígids (i cars) ponts de travesses, però Roebling, quan compregué tot el que podria ocórrer si un pont penjant s'esfondrava, sabé inventar una manera d'obviar a tal fracàs mitjançant un disseny més econòmic. El seu Niagara Bridge de dos pisos fou enginyosament endurit i subjectat amb cables i s'obrí al servei ferroviari i de carros de transport el 1855.

L'EVOLUCIÓ DELS PONTS PENJANTS

«Millorar» els dissenys ja existents pertany a la naturalesa del disseny. En el cas dels ponts penjants, això implica no solament construir ponts encara més llargs, sinó fer-ho d'una manera més econòmica. Com que els ponts reeixits, com els de John Roebling, semblaven coses corrents, sorgí la tendència previsible, augmentada pels interessos pecuniaris dels qui volen la construcció de ponts i pels interessos estètics dels qui els dissenyen, a eliminar-ne part de l'excés de pes, com també del material que no solament costa molts diners, sinó que també destrueix les línies del pont. Al cap i a la fi, si els ponts de Roebling podien suportar totes les vicissituds del temps, del riu i del trànsit, ¿no havia pensat ell en tot i no havia dissenyat contra totes les escomeses a què un punt suspès pot estar subjecte? No havia obviat a tots els tipus de fracàs? De fet, des del moment que els seus ponts i uns altres com els d'ell havien complert tan bé la seva funció durant tants

anys, els ponts penjants no eren *sobredissenyats*? Certament, en el segle XX, quan els principis del disseny d'estructures eren molt més sofisticats que els del segle XIX, els grans ponts no necessitaven tant acer modern com els seus avantpassats.

Per això l'evolució dels ponts penjants de la primera part del segle XX donà lloc a dissenys tan afins com l'originari George Washington Bridge (abans que hi afegissin un pis inferior), el Bronx-Whitestone (abans d'afegir-hi el tramet rígid) i el Tacoma Narrows Bridge (abans que s'enfonsés). L'estètica del disseny dels ponts suspesos dels anys trenta apuntava cap a ulls de pont més llargs amb estructures de coberta molt poc profundes, cosa que conduí al final a un tipus de fracàs inesperat però no sense precedents històrics (SIBLY i WALKER, 1977 : 191-208).

Mentre que el Brooklyn Bridge tenia un pis molt profund que servia per a endurir la calçada del trànsit i complicats cables de suspensió en diagonal per a enrigidir-lo amb vista al vent, els ponts més recents s'havien convertit en estructures que solament posseïen vestigis d'aquelles característiques. Allò que Roebling havia meditat llargament per tal d'obviar al fracàs els seus successors ho oblidaren o ni tan sols ho imaginaren. La càrrega enorme dels vuit canals del George Washington Bridge féu que el seu pis pesés tant que la seva mateixa inèrcia pogué resistir el vent. El Bronx-Whitestone i els seus contemporanis, dissenyats uns cinc o deu anys després, començaren a mostrar signes d'una flexibilitat excessiva respecte al vent quan foren inaugurats a la fi dels anys trenta.

S'arribà al límit quan s'inaugurà el Tacoma Narrows, amb un pis molt estret només de dos canals —perquè el trànsit de Puget Sound no necessitava més— molt poc profund, que recolzava en unes innovadores jàsseres sòlides. El pont era, de fet, prou fort per a suportar el seu propi pes i el trànsit que hi circulava, però als seus dissenyadors no se'ls ocorregué que el vent en pogués tòrcer la lleugera estructura amb la seva violència. Encara que els dissenyadors potser van anticipar i dissenyar correctament totes les altres menes de fracàs en què el seu pont podia fallar, el fet que no pensessin en l'*únic tipus crític* de fracàs és ara el que té importància.

CONCLUSIÓ

Existeix una tendència a buscar models en els èxits del passat quan hom topa amb nous problemes de disseny. Creiem que el que ha funcionat bé en el passat ens pot guiar per al funcionament futur. Aquest enfocament és correcte si tot el que volem fer és una còpia aproximada de quelcom que ha de funcionar en un context gairebé idèntic (i com més semblant, millor). Acostuma a haver-hi prou conservadorisme al model i a la nostra còpia per a permetre l'analogia imperfecta, però és evident que il·lusions d'aquesta mena no poden continuar sense perill. A

més a més, poques vegades volem simplement copiar perquè la situació o el nostre esperit creador no ho permet. Però, quan els dissenyadors ens encarem amb el problema de fer alguna cosa que va més enllà del que s'ha fet abans, val molt més examinar els fracassos del passat que no pas els seus èxits. Són només els fracassos allò que ens deixa veure amb claredat el que intentem evitar, i l'única manera d'assegurar l'èxit és obviar al fracàs.

Bibliografia citada

- FERGUSON, Eugene S. (1977), «The Mind's Eye: Nonverbal Thought in Technology», *Science*, 197.
- FISHER, John W. (1984), *Fatigue and Fracture in Steel Bridges: Case Studies*, John Wiley & Sons, Nova York.
- GORDON, J. E. (1981), *Structures: Or why Things don't fall down*, Da Capo Press, Nova York.
- LEONHARDT, Fritz (1984), *Bridges: Aesthetic and Design*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
- MCCULLOUGH, David (1972), *The Great Bridge*, Simon and Shuster, Nova York.
- PETROSKI, Henry (1985), *Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design*, St. Martin Press, Nova York.
- (1987), «Inventions Spurned: On Bridges and the Impact of Society on Technology», *Impact of Science on Society*, 147.
- ROEBLING, J. A. (1841), «Some Remarks on Suspension Bridges, and on the Comparative Merits of Cable and Chains Bridges», *American Railroad Journal and Mechanics' Magazine*, abril 1.
- SIBLY, P. G. i WALKER, A. C. (1977), «Structural Accidents and Their Causes», *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, part 1, 62.
- VINCENTI, Walter G. (1986), «The Davis Wing and the Problem of Airfoil Design: Uncertainty and Growth in Engineering Knowledge», *Technology and Culture*, 27.

E L DISEÑO COMO MANERA DE OBIVIAR EL FRACASO

RESUMEN

Evitar sistemáticamente el fracaso es lo que caracteriza el diseño racional. Por esto los estudios históricos de casos de fracaso están llenos de información importante para el éxito del diseño, y el diseñador que desconozca la historia de los fracasos corre el riesgo de repetir viejos errores. En lugar de comentarlos de una manera general en este ensayo, vamos a examinar estas ideas son en el contexto del ejemplo específico de la ingeniería estructural.

INTRODUCCIÓN

El problema de ingeniería-estructural de diseñar un puente nos puede servir no sólo como paradigma, sino también como metáfora para cualquier problema de diseño. La *necesidad*, o por lo menos el *deseo*, de tender un puente se produce previamente, y nunca pensando en un diseñador determinado. Alguna persona, grupo o comunidad percibe habitualmente la necesidad de tender un puente, porque el papel que dicho puente desempeña —permitir que el tráfico se mueva con eficacia, seguridad y fiabilidad del punto A al punto B pasando por encima de todo obstáculo o estorbo que pueda haber entre ambos puntos— no puede cumplirse por medios o procedimientos ya existentes.

La necesidad de disponer de un puente define un problema de diseño que de inmediato se plantea a los que están acostumbrados a tratar dichos problemas: los diseñadores de puentes. Los que plantean el problema reconocen, implícita o explícitamente, que los problemas de diseño no tienen soluciones únicas, y que a menudo se realiza un concurso de diseño. Los que quieren que se construya un puente especifican sus funciones y delinear las exigencias que definen los datos específicos de cada problema del puente: dónde se debe construir el puente, cuánto tráfico debe soportar, de qué margen de altura debe disponer, cómo debe encajar con la infraestructura existente, etc. Es aquí cuando el diseñador suele empezar a trabajar, y aunque las restricciones sociales, ergonómicas y ambientales no están impuestas explícitamente en la definición del problema del diseño, el diseñador las verá como aspectos autoimpuestos, naturales y deseables de toda solución. Para conseguir un éxito verdadero, cualquier diseño de debe dejar de cumplir con *todos* los requisitos y las restricciones, tanto explícitos como implícitos. El problema del diseño es fundamentalmente, por lo tanto, un problema de anticipar y obviar el fracaso.