

## **SOBRE ALAMBRES, TORONES, CABLES Y PUENTES COLGANTES EN ACERO. RASTREANDO CURSOS DE ACCIÓN, ASOCIACIONES Y TRADUCCIONES DESDE LA ONTOLOGÍA DEL ACTANTE RIZOMA (OAR)**

**Alejandra González V.**

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), FAU.UCV.  
alejandra\_gonzalezve@yahoo.com

### **RESUMEN**

Para que los puentes colgantes fueran una realidad, hubo de ser recorrido un complejo camino en el campo de la invención y la innovación de tecnologías del acero. De hecho, los puentes colgantes no existirían si el acero no hubiera sido creado por el hombre a partir de la aleación de hierro y carbono. Más adelante, el desarrollo de aceros más dúctiles y tenaces, de maquinarias capaces de elongar barras de acero hasta diámetros inimaginables, de la invención del alambre y luego el diseño del torón y, en simultáneo, los avances en el conocimiento del comportamiento de las estructuras, la sismorresistencia y los avances tecnológicos basados en la ciencia, también constituyeron factores determinantes. Los puentes colgantes han representado un gran avance para la humanidad al unir horizontes, territorios, que con las tecnologías tradicionales difícilmente hubieran podido encontrarse. La presente ponencia tiene por objetivo seguir el rastro, conjeturar, identificar señales, pasar el rastrillo por sobre la narrativa de algunos temas seleccionados para extraer de ellos una posible interpretación y comprensión del curso de acción que llevó a la aparición de los puentes colgantes. Nos basaremos en las nociones y categorías que nos ofrece la ontología del actante rizoma, propuesta por Bruno Latour y sus colaboradores: el actante, las asociaciones y las traducciones. Para ello metodológicamente hemos revisado a profundidad su obra y hemos también estudiado algunos puentes de acero emblemáticos, reconocidos por la historiografía de la arquitectura. Aspiramos a obtener una nueva mirada de mayor complejidad y acercamiento a la realidad sobre los caminos o senderos que atraviesa el desarrollo y la innovación de las edificaciones construidas con acero, en especial los maravillosos puentes colgantes de acero.

**Palabras clave:** puentes colgantes de acero, ontología actante rizoma, asociaciones, traducciones.

## **A MODO DE INTRODUCCIÓN**

### **Problematizando la forma en que hasta ahora se ha explicado el desarrollo tecnológico y la innovación**

La tecnología<sup>1</sup> en cualquiera de sus formas surge de la aplicación del conocimiento científico en la producción de bienes y servicios para la vida del hombre. Este vínculo con el desarrollo de la ciencia diferencia a la tecnología de la técnica (tekné) que tiene sus orígenes en la práctica en sí misma y la experiencia empírica y también la distingue de la ciencia en cuanto a su viabilidad y factibilidad de aplicación a la vida misma y al progreso de la humanidad.

En esta ponencia nos referiremos específicamente a las tecnologías desarrolladas en el campo de la construcción en acero.

El desarrollo tecnológico ha venido siendo explicado tradicionalmente desde enfoques históricos y/o sociológicos, vale decir, desde explicaciones del estudio de la sociología de la ciencia y la relación ciencia-tecnología, en las cuales se ponen en valor: pasos evolutivos asociados a épocas específicas, avances incrementales o radicales vinculados a hitos históricos particulares, influencia de la relación que se da entre actores clave y factores circunstanciales, entre otros aspectos.

La presente investigación tiene como objetivo dar una mirada desde un novedoso punto de vista que arroja luces de otro orden, develando nuevas representaciones sobre este trascendental hecho. Y abriendo curso de acción para transitar hacia el fortalecimiento del desarrollo tecnológico y la innovación de forma más eficaz.

### **La ontología del actante rizoma como marco conceptual para una nueva interpretación. Cursos de acción, asociaciones y traducciones**

Por una senda de descubrimiento que quizá nace en Kant, continúa en Kuhn, prosigue con Heidegger-Gadamer-Derrida-Foucault, la modernidad, el giro interpretativo, la posmodernidad y el post-estructuralismo, descubrimos a Bruno Latour. En él y en su pensamiento, encontramos un escenario epistemológico cargado de nociones, conceptos y métodos<sup>2</sup> que nos resultaron familiares, confortables y poderosos.

Bruno Latour –filósofo, sociólogo de la ciencia y antropólogo francés aún vivo–, junto a Michael Callon, concibió la Teoría del Actor Red (ANT), más adelante, ontología del actante rizoma (OAR), dentro de la visión epistemológica constructivista de la ciencia y la tecnología.<sup>3</sup> Se les atribuye a estos autores la consideración de que la tecnología cumple una función mediadora en las relaciones sociales, lo cual le otorga un rol de actor social del mismo nivel que el que tradicionalmente otras ontologías han otorgado solo al humano. Así entonces, lo humano y lo no humano alcanzan el mismo estatus, hay simetría y no es posible dominación de lo humano sobre lo no humano, o viceversa, acabando de esta forma con las

---

<sup>1</sup> Tecnología “es el conjunto ordenado de todos los conocimientos usados en la producción, distribución (a través del comercio o de cualquier otro método) y uso de bienes y servicios. Por lo tanto, cubre no solamente el conocimiento científico y tecnológico obtenido por investigación y desarrollo, sino también el derivado de experiencias empíricas, la tradición, habilidades manuales, intuiciones, copia, adaptación, etc.” (Jorge A. Sabato y Michael Mackenzie, 1982).

<sup>2</sup> La identificación de cursos de acción en la narración es uno de los métodos propios de esta ontología. Permite rastrear las asociaciones que en cada caso han determinado la existencia de algo, una tecnología, etc. y a su vez permite conseguir vestigios de sus actantes.

<sup>3</sup> Para Latour (1991), la “Tecnología es la sociedad que se hace duradera”. Aun cuando el humano individual o colectivo que la ideó no exista, ella perdura y sigue cumpliendo su función y puede ser objeto de nuevas traducciones y delegaciones.

polaridades y dualidades entre humano y tecnológico, naturalidad y artificialidad, sujeto-objeto, entre otras.

La ontología del actante rizoma (OAR) es una sociología de las asociaciones. Tanto actantes como redes son determinantes, no puede reducirse la comprensión de la realidad a uno u otro de forma aislada; se trata de un “entramado social sin costuras –narración continua sin fases–, en el cual toda relación social está mediada por artefactos y componentes no humanos en un tejido socio-técnico” Latour (1999).

Las denominaciones de actante y rizoma poseen antecedentes importantes. Lucien Tesnière, lingüista francés, autor de la Teoría Sintáctica, designa al “actante” como el participante (persona, animal, cosa u evento) en un programa narrativo.<sup>4</sup> En cada programa narrativo intervienen diferentes actantes que poseen roles actanciales, que son los que dan origen a la posibilidad de crear nuevos modelos, conceptos y artefactos. Por su lado, Gilles Deleuze – filósofo, historiador y teórico social francés– y Félix Guattari –filósofo, psicoanalista y teórico social, también francés–, basándose en el concepto del rizoma botánico, derivan un concepto filosófico en su libro *Capitalismo y esquizofrenia* (1972-1980), el modelo rizomático, una imagen de pensamiento que representa las multiplicidades.

La polémica ontología del actante rizoma y su correlato epistemológico y metodológico parte de estas nociones para romper de manera rotunda con las visiones dualistas sujeto-objeto del positivismo, y plantea una teoría de la mediación técnica en la que se da un proceso de “encantamiento”, que Fernández <sup>5</sup> (1993, p. 119) explica de la siguiente forma:

...hay una relación nueva entre sujeto y objeto, de simpatía o antipatía suficientemente justificable...el sujeto dota al objeto de conocimiento, esto es, le inculca, le otorga sus propios pensamientos y sentimientos. Luego permite que el objeto los desarrolle en términos suyos según su naturaleza,...el sujeto es sensible al objeto: El objeto en reciprocidad, le otorga al sujeto sus características;...

El desarrollo de tecnologías y/o componentes constructivos, como veremos más adelante, está lleno de nuevas asociaciones y algunos encantamientos que conducen a acciones de mediación técnica que van abriendo “cursos de acción”.

La mediación técnica toma forma, en palabras de Latour, a partir de algunas estrategias, a saber:

1. *Traducción*: unión de dos agentes que crean uno nuevo (actor o agente híbrido), que posee un nuevo objetivo que solo se da con la existencia de ambos actores. También, todas las negociaciones, intrigas, actos de persuasión o rodeos, gracias a los cuales un actor consigue la adhesión de los otros actores. La traducción es un proceso de lucha (agónico), que exige gran esfuerzo y no tiene final y que se da en varias fases: cambio de los objetivos de un actor para adaptarlos a los de otro (formación del actor híbrido), cambio de objetivos generales u ofrecimiento de la tecnología a nuevos

---

<sup>4</sup> El “actante” es una pieza clave del teatro semiótico. Es ilustrativo de un doble movimiento inductivo-deductivo en el análisis semiótico; se utiliza en las tendencias de análisis del discurso y se basa en el análisis de aspectos empíricos de relatos o en el análisis de los programas narrativos. Tiene su origen en los cuentos populares rusos.

<sup>5</sup> Pablo Fernández Christlieb es profesor de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Ha aportado la noción de epistemología del encantamiento, inserta también en el marco de los paradigmas constructivistas del conocimiento.

actores o reorganización de intereses y objetivos para vencer las dificultades. Por supuesto, toda traducción implica un cambio de lenguaje.

2. *Simetría*: consistente en la necesaria asociación de elementos humanos y no humanos para que se dé la acción, asignándoles igual importancia, peso o posibilidades.
3. *Cajanegrización*: la tecnología es comprensible para nosotros mientras funciona bien o tiene éxito, pero cada uno de los aspectos que la componen internamente nos son desconocidos. La cajanegrización es, en palabras de Latour:

...camino mediante el cual el trabajo científico o técnico se vuelve invisible a causa de su propio éxito. Cuando una máquina funciona eficientemente o un hecho está establecido con firmeza, uno sólo necesita concentrarse en los beneficios que genere y no en su complejidad interior. Así, paradójicamente, sucede que la ciencia y la tecnología cuanto más éxito obtienen más opacas se vuelven.

En oposición a esta noción está la descajanegrización, típicamente latouriana, entendida como la acción que permite desvelar los aspectos internos no conocidos por el observador o usuario para hacerlos emerger y poder abrir nuevos cursos de acción.

4. *Delegación*: Es la que permite un desplazamiento del significado y a vez la traducción de la acción en una nueva acción o expresión tecnológica. Permite que la acción que se hizo en otra época y por otro agente (aunque ya no exista) siga teniendo efectos y haga que la sociedad sea sostenible, debido a que de esta forma el resultado de las asociaciones es incorporado (tecnología incorporada)<sup>6</sup> a materiales y componentes que duran más que las relaciones personales que las generaron y se hagan sostenibles<sup>7</sup> y se reproduzcan en el futuro.

### **La ductilidad en el acero. Un actante clave en el proceso de traducción**

La ductilidad es la propiedad que ostentan ciertos materiales metálicos como el hierro, el acero y los asfálticos, que les permite alcanzar grandes deformaciones plásticas sin llegar al punto de rotura. Es un actante tecnológico, si lo vemos como el actor híbrido resultante de la asociación de actantes antecedentes hierro+carbono-oxígeno+temperatura+coque+etc.-etc... que aún continúa transformándose. Lo contrario de un material dúctil, es un material frágil. Los materiales dúctiles también pueden romperse pero lo hacen de forma tardía, luego de haber sufrido profundas deformaciones. Un material dúctil mientras más se estira disminuye su sección transversal; el estiramiento es inversamente proporcional al área de la sección.

El hierro fundido y el forjado –primeras versiones utilizadas en la construcción– tenían ductilidades limitadas debido a la cercanía de sus propiedades físico-mecánicas a las originales del óxido de hierro (forma de encontrar el hierro en la naturaleza). De allí que la forma de los primeros puentes de acero haya estado aún muy asociada a la concepción formal y estructural de los puentes de arco de piedra, cuya respuesta estructural está basada en el comportamiento a flexo-compresión.

---

<sup>6</sup> Latour y sus colaboradores parten del supuesto estratégico según el cual, “si un conjunto de «relaciones sociales» se incorporan a materiales que son más duraderos que la interacción personal, es muy probable que esas relaciones sociales se reproduzcan”. Como puede observarse, esto va mucho más allá del concepto de “tecnología incorporada”, planteado por Sábato y Mackenzie.

<sup>7</sup> Latour habla de estabilización como períodos de estabilidad que suponen un espacio-tiempo, en el cual las tecnologías aportan significado al entramado sociotécnico.

Sin embargo, en la medida en que fueron evolucionando las aleaciones<sup>8</sup> con otros metales y progresando las formas de producción de acero luego de la Revolución Industrial por la oxidorreducción con coque, la invención del convertidor vertical e inclinado, el laminador universal y otros tantos actantes, estas propiedades fueron transformándose y se tuvo por fin acceso a aceros más dúctiles, resistentes y tenaces.

De inmediato surgen nuevos “cursos de acción” y asociaciones, nuevos eslabones en la cadena de producción, en consecuencia, nuevos componentes constructivos; el alambroón, el alambre y más adelante los torones encuentran lugar para su aparición, resultado claro de nuevas traducciones tecnológicas.

## ACTANTE RIZOMA 1

### IRON BRIDGE, PRIMER PUENTE DE ACERO

Si bien el Iron Bridge no es un puente colgante, es un hito clave en este rastreo de cursos de acción, ya que es considerado el primer puente en el cual el hierro fundido fue utilizado estructuralmente, “el primer uso del metal para una estructura” (McCormac, 2009). El Iron Bridge sobre el río Severn en Inglaterra, llamado también el puente de arco de Coalbrookdale (Figura 1), es la materialización de una nueva traducción. Su forma en arco obedece aun a la lógica estructural y constructiva de los puentes de piedra, y a la vez revela las aún limitadas propiedades mecánicas del hierro fundido para ser sometido a esfuerzos de tracción y a su gran versatilidad para ser moldeado. La existencia de una familia con tradición en fundición de hierro y capacidad productiva permitió el desarrollo de una nueva forma de fundir acero a base de coque, que representó un avance importante en la técnica utilizada hasta el momento.<sup>9</sup>



**Figura 1:** El Iron Bridge de sir Abraham Darby III. Río Severn. Inglaterra, 1779.

---

<sup>8</sup> Las aleaciones son uniones metalúrgicas del hierro o el acero con otros metales. Sin embargo, la aleación fundamental es la que da posibilidad de existencia al acero, hierro+carbono en bajos porcentajes.

<sup>9</sup> Abraham Darby introdujo hacia 1709 una nueva manera de reducir el hierro (es decir, eliminarle oxígeno, utilizando en vez de carbón vegetal y fuelle, coque y alto horno. Así creó una forma más económica de producir hierro fundido y sin saberlo abrió un curso de acción en materia de producción más sustentable, dado que se disminuyó la tala de árboles para la producción de carbón vegetal. Entre los antecedentes que permitieron la existencia de este curso de acción estuvieron: experiencia en fundición con coque de un bisabuelo de Abraham Darby, existencia de experiencia en fundición y la tradición familiar en Bristol, visión creativa de Darby, y destrucción y posterior reparación de un horno en Coalbrookdale, que abrió espacio para el cambio de modalidad de fundición del hierro.

Abraham Darby III en la Inglaterra de 1779, se constituyó en un actor híbrido, al ser heredero de la famosa fundición de hierro en la cual por primera vez se fundió hierro con coque, productor de hierro de mayor pureza, resistencia y menor costo y promotor de la construcción del Iron Bridge.

Las dificultades enfrentadas en esta experiencia sentaron las bases para ir a la búsqueda de elementos estructurales más livianos, como lo fueron las vigas de celosía, y cerchas más adelante, aspecto este que también actuó en la construcción del curso de acción hacia los puentes colgantes.

## **ACTANTE RIZOMA 2**

### **LAMINADOR UNIVERSAL Y TRENES DE PERFILAMIENTO**

Hasta el momento de la aparición del primer laminador universal cercano a la Revolución Industrial y la creación de la máquina de vapor, el moldeo del hierro se realizaba de forma manual: forjado o fundido, "...a golpe de martillo...o se vertía en moldes de arena" (Strike, 2004, p. 21).

La invención del laminador universal aun en sus más rudimentarias versiones, abrió un curso de acción específico y claro en lo relativo a las posibilidades de fabricación de productos semiterminados (planchones) más finos y también barras más delgadas (alambres).

Tanto láminas muy delgadas como alambres muy finos requieren en su fabricación de procesos de laminación en caliente y procesos de laminación en frío. Los calientes, también llamados laminación primaria, y los segundos, laminación secundaria, aportan cada uno a temperaturas distintas mejoras en las propiedades físico-mecánicas del acero con que se fabrican los diversos componentes.

Más allá de la primigenia función de aplastar planchones o alargar palanquillas, la incorporación de mordazas, mandriles o dados de conformado abrió nuevas posibilidades en la fabricación de láminas muy delgadas, barras, alambres, a partir del uso de trenes de perfilamiento continuo en frío con parejas de dados. Más tarde, con el aporte de la tecnología del trefilado,<sup>10</sup> las posibilidades de elaborar alambres muchos más delgados y dúctiles se hizo realidad.

Detrás de cada paso evolutivo en la consecución de nuevas formas de procesar el acero, hay una serie de nuevas asociaciones, tanto humanas como no humanas, que determinan las nuevas traducciones, delegaciones y estabilizaciones<sup>11</sup> que hacen posible el desarrollo de nuevas tecnologías e innovación.<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> El trefilado es la operación por conformado que permite disminuir la sección transversal de un alambre.

<sup>11</sup> Las estabilizaciones son desplazamientos que se hacen permanentes en el tiempo. Es una noción propia de la OAR.

<sup>12</sup> Los rieles o raíles de ferrocarril fueron determinantes en la existencia de las vigas T para la construcción, que abrió las posibilidades de fabricación de edificios altos y rascacielos, que era imposible lograr con las técnicas tradicionales de muros de ladrillos. Sin embargo, la T tomada directamente de los rieles ferroviarios no resultaba la forma óptima para resistir las cargas, tanto de miembros de columna o viga. Entonces, una investigación experimental realizada partiendo de los avances en el conocimiento estructural de la ingeniería, determinó la necesidad de crear las dos alas de la tan conocida hoy día "doble T". De esa forma, este componente tan vigente aún hoy pasó a responder de manera óptima a las sollicitaciones estructurales de las edificaciones.

## ACTANTE RIZOMA 3

### BARRAS-ALAMBRES-TORONES-CABLES

Una vez que los aceros empezaron a evolucionar, producto de la utilización del convertidor, de nuevas aleaciones y de la evolución de los laminadores, se hizo posible producir barras de secciones cada vez menores: alambón, alambres<sup>13</sup> y finalmente cables.

Cada uno de ellos es un paso evolutivo en la fabricación de componentes para la construcción y permitió a su vez, aguas abajo, crear nuevos cursos de acción. Las barras fueron evolucionando hacia sofisticados relieves y diámetros menores, que permitieron el desarrollo de dos nociones cruciales para la evolución de la tecnología del concreto armado: la adherencia entre la barra de acero y el concreto, y las cabillas de tres octavos para realizar zunchos y estribos, que mejoraron notoriamente la eficiencia de los miembros de concreto frente a los esfuerzos de compresión, tracción y flexión.

La posibilidad de fabricar alambres alargando barras industrialmente, propició la elaboración de cables. Un cable<sup>14</sup> es la reunión de varios torones,<sup>15</sup> diseñado especialmente para obtener una mayor resistencia a las deformaciones por tracción. Ellos forman un todo, es decir, un componente constructivo complejo con tecnología incorporada. Los mismos pueden agruparse en capas de forma plana alrededor de un alambre central o enrollados helicoidalmente formando cables espirales. Estos últimos ofrecen una resistencia mayor debido a la energía acumulada por la torsión de los alambres.



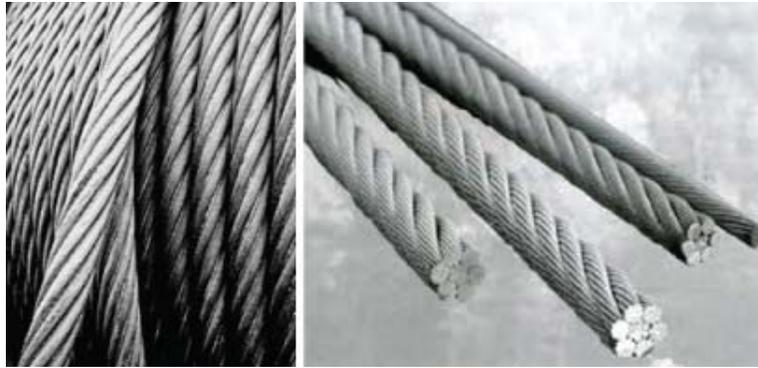
**Figura 2:** 1. Alambre 2. Torón 3. Cable

---

<sup>13</sup> El alambre es obtenido por estiramiento al reducir el diámetro del alambón, haciéndolo pasar por dados o matrices mediante la aplicación de una fuerza axial. Las propiedades del alambre dependen básicamente de su composición química, microestructura, nivel de inclusiones, tamaño de grano, segregaciones y condiciones del proceso. Todos los alambres deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas ASTM A 1007, JIS G 3525, API 9 A, RRW 410 F, ISO 2232.

<sup>14</sup> Los cables de acero están constituidos por alambres de acero, generalmente trenzados en hélice (espiral); esta torsión helicoidal aumenta la capacidad de resistir los esfuerzos de tracción del acero (Figura 2).

<sup>15</sup> Están formados por alambres que pueden ser todos del mismo o de diferentes diámetros, trenzados helicoidalmente sobre un alma central (Figura 3).



**Figura 3:** Alambre trefilado y cable a base de torones agrupados en torsión.

## **ACTANTE RIZOMA 4**

### **EL PUENTE DE BROOKLYN, PRIMER PUENTE COLGANTE MODERNO EN ACERO DEL MUNDO**

El desarrollo de puentes colgantes es sin duda el gran salto para tratar de llegar más lejos con menos apoyos. El desarrollo de la técnica de las cadenas de acero, y más tarde la del cable de acero, fue crucial. Algunos de los puentes colgantes realizados en la primera etapa resultaron dañados muy rápidamente debido a su excesiva ligereza, fueron presa de tornados, vientos y las oscilaciones del propio tráfico. Sin embargo, ellos abrieron el camino al desarrollo de los magníficos puentes colgantes que existen hoy día en el mundo. Frampton (2002) nos dice:

Dado que la fabricación de eslabones de hierro forjado capaces de resistir tracciones siempre fue una cuestión arriesgada y cara, la idea de usar cables a base de alambres tensados en lugar de cadenas parece que se les ocurrió por vez primera en 1816 a White y Hazard,, y más tarde a los hermanos Seguin...

Fue en Estados Unidos donde se construyó el primer puente colgante moderno del mundo, el de Brooklyn (Figura 4). Su autor, uno de los primeros inmigrantes alemanes, John Roebling (1806-1869), había realizado un poco antes uno de los aportes más importantes a la técnica de colgar puentes, su patente del cable de alambre de 1842. “Los cables de Roebling



**Figura 4:** Vista del puente de Brooklyn de Roebling, Nueva York, Estados Unidos. Detalle de los cables con escala humana. (Fotos cortesía de la ingeniera Gladys Maggi)

estaban retorcidos helicoidalmente como los de Vicat<sup>16</sup> (Frampton, 2002).

El puente de Brooklyn tardó en construirse casi 14 años, lo que significó ocho años más de lo previsto en el proyecto original, a un costo de 15 millones de dólares, el doble de lo presupuestado inicialmente. Fue concebido por su autor en 1855 y se inició su construcción en 1865 (Dupré, 2000).

El tramo central del puente cuelga de cuatro grandes cables portantes de acero, de los cuales penden a su vez cerca de 800 cables verticales, también de acero galvanizado.

En este puente, que constituyó la última obra de Roebling y que le costó la vida,<sup>17</sup> fue posible gracias a la tecnología del cable de acero galvanizado. Los cables se sumergieron en tinajas de cinc fundido, que generaron una protección metalúrgica a los alambres de acero (Derry y Williams, 1995).

## **ACTANTE RIZOMA 5**

### **PUENTES COLGANTES CONTEMPORÁNEOS. SANTIAGO CALATRAVA, UN EXPONENTE**

Cilento (2000) expresa que “el diseño y construcción de puentes ha sido dominio casi exclusivo de los ingenieros”. Sin embargo, en las últimas décadas ha habido un importante repunte en materia de puentes colgantes, que se origina en la disciplina de la arquitectura, por supuesto, con el apoyo de la ingeniería.

En esta nueva dimensión de la arquitectura y la construcción se destaca, en nuestra opinión, la obra del ingeniero, arquitecto y escultor español Santiago Calatrava. A pesar de la polémica en torno a sus obras relativo a costos de construcción, mantenimiento y tiempos de ejecución, el autor ha proyectado y construido más de 40 puentes de pequeño formato de función peatonal. Cada uno de sus puentes es un prototipo construido en el laboratorio de la vida real; en cada uno de ellos el arquitecto-ingeniero-escultor ha puesto a prueba sus planteamientos e ideas y se ha trazado nuevos propósitos.

Calatrava ha diseñado y construido también una muestra destacada de puentes de casi 200 metros de longitud, que dan fe de su capacidad para fusionar lo escultórico con lo estructural, a partir de propuestas absolutamente estéticas y funcionales, en las cuales el concepto del puente colgante es llevado a límites retadores.

Sus puentes desbordan una imagen aerodinámica. Se le considera el constructor de puentes más creativo y polémico del panorama actual y ha logrado borrar las fronteras entre arquitectura e ingeniería (Dupré, 2000). Se reconoce el aporte de sus obras al estímulo vital de varias ciudades y la reactivación de su atractivo turístico.

El más largo de sus puentes es el de Alamillo sobre el río Guadalquivir, en la ciudad de Sevilla, España. Un puente colgante de 250 metros de longitud, del tipo atirantado, con un pilón o mástil inclinado a manera de contrapeso, con 13 cables tensores. Otro, el puente colgante de Lusitania sobre el río Guadiana, une el casco antiguo de la ciudad de Mérida con la nueva zona denominada El Polígono. Un puente con tramo central de 189 metros de longitud (Figura 5).

---

<sup>16</sup> Louis Vicat (1786-1861). Ingeniero francés experto en evaluación de puentes. Si bien se le vincula más al material concreto, sus estudios de puentes le permitieron realizar grandes aportes al conocimiento de puentes colgantes y cables.

<sup>17</sup> Roebling murió tres semanas antes de colocar la primera piedra de la construcción del puente, como consecuencia de un accidente durante la ubicación en sitio de los pilotes de una de las torres



**Figura 5:** Puentes de Alamillo y Lusitania, de Santiago Calatrava

Los puentes de Calatrava utilizan no solo las más sofisticadas aleaciones de acero, que le conceden a los miembros estructurales resistencia, a la vez que ligereza, sino que además integran el manejo de la forma y el equilibrio con los conceptos más innovadores de sismorresistencia, a base de amortiguadores, tirantes, rigidizadores, sistemas computarizados, nodos inteligentes y contrapesos. Sus obras son excelentes ejemplos de nuevas asociaciones y dejan abiertos cursos de acción retadores para las próximas generaciones.

## **REFLEXIONES FINALES**

El rastreo de nuevos cursos de acción que hemos realizado a partir de la revisión de estos cinco hitos rizomáticos, nos permite abrir nuevas comprensiones sobre el desarrollo de viejas y nuevas tecnologías. Cambian la visión de un sujeto “inventor” que crea de manera individual, genial e inspirada, la tecnología como producto de una línea evolutiva de inventos o la innovación como consecuencia de la aplicación de un método previamente establecido, y dan paso a una representación de mayor complejidad y riqueza, aquella que percibe la delicada red de asociaciones que se tejen en torno a cada hito no solo entre entes humanos, sino también reconociendo el impulso que entes no humanos aportan a la construcción de cursos de acción.

En los casos estudiados hemos podido apreciar cómo la incorporación de un nuevo elemento, proceso o maquinaria, modifica uno preexistente y este obtiene nuevas propiedades que le abren nuevas posibilidades de uso, como hemos podido ver en el caso del hierro y el acero. También hemos observado cómo la experimentación y la generación de nuevo conocimiento abre una caja negra, como en el caso del uso inicial de cadenas para colgar puentes y la posterior hibridación de las nociones de cadena-ductilidad-cable de White, Azard y los hermanos Seguin, para generar los actuales torones, actantes que con su potenciada capacidad para resistir los esfuerzos de tracción permiten hoy día la construcción de modernos puentes colgantes.

Las acciones de Roebling para sortear la dificultad que planteaba la construcción de un puente colgante hacia mediados de 1800, es demostrativa de su capacidad para construir nuevas asociaciones y buscar caminos alternativos.

La comprensión del desarrollo tecnológico como una red de asociaciones que se manifiesta a partir de traducciones, delegaciones, rodeos, desplazamientos, descajenegrizationes, nos provee una visión mucho más cargada de sentido y abre la posibilidad de evaluar y rediseñar

los cursos de acción que hemos de tomar para lograr nuevos avances tecnológicos en la construcción en acero.

La valoración simétrica a los diversos actantes humanos o no, entendiendo su rol, su potencial de contribución y creando la posibilidad de nutrir el escenario y la narrativa del desarrollo tecnológico, de inventar nuevos lenguajes, nuevos colectivos, nuevos mundos, nos permite percibir la otredad, lo no familiar, no como amenaza sino, por el contrario, como estimulante mundo por explorar.

Hoy ya no están Paxton, Siemens, Martin, Eiffel, Roebling, Seguin, Darby, White, Vicat, Azard y algún día que esperamos lejano, tampoco lo estarán Calatrava ni Latour, sin embargo, como dice este último, en el cable, el acero, el torón, el puente colgante o la viga doble T, ha quedado la impronta de la sociedad duradera, han quedado impresas las huellas de las asociaciones que lo auspiciaron, se han abierto mil cajas negras y ha quedado sembrada la semilla de los cursos de acción que vendrán, de los nuevos retos que habrán de resolver las generaciones futuras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, L. (2006). *Estructuras de acero. Conceptos, técnicas y lenguaje*. São Paulo: Ziguarte Editora.

Araujo, R. (1998). Construir en acero: forma y estructura en el espacio continuo. *Tectónica*, 9. Acero I. Madrid: ATC Ediciones.

Arnal, E. (2000). *Lecciones de puentes*. Caracas: Altolitho, C.A.

Cilento, A. (2000). Puentes y puentes colgantes. *Tecnología y Construcción*, N° 16 II. Caracas: IDEC/FAU/UCV.

Derry, T. y Williams, T. (1995). Historia de la Tecnología. Desde 1750 hasta 1900. Volumen 2. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.

Donald, A. Pradeep, F. y Wendelin, W. *Ciencia e ingeniería de materiales*. Cengage Learning.

Dupré, J. (2000). *Puentes. La historia de los puentes más famosos e importantes del mundo*. Colonia: Konemann.

Fernández, P. (1993). *El conocimiento encantado. El sabor del saber*. Editorial Archipiélago.

Frampton, K. (2002). *Historia crítica de la arquitectura moderna*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.

Gutiérrez, A. (1997). *Manual de Estructuras de Acero*. Tomo I. Caracas: Properca, C.A.

Jurado, J. (1998). Hierro sublimado. *Tectónica*, 9. Acero I. Madrid: ATC Ediciones.

Latour, B. (1991/1993). *Nunca hemos sido modernos. Ensayos de antropología simétrica*. Madrid: Debate.

Latour, B. (1999/2001). *La esperanza de Pandora. Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. Barcelona: Gedisa.

Latour, B. (2002). *Morality and technology. The end of the means. Theory, culture and society*. Barcelona: Gedisa.

Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford: Oxford University Press.

McCormac, J. (2002). *Diseño de estructuras de acero*. México: Alfaomega Grupo Editor.

McCormac, J. (2009). *Diseño de estructuras metálicas*. México: Alfaomega Grupo Editor.

Mainstone, R. (2008). *Developments in structural forms*. London: Architectural Press: Routledge-Taylor & Francis Group.

Sábato, J. y Mackenzie, M. (1982). *La producción de tecnología. autónoma o transnacional*. México: Editorial Nueva Imagen.

Safina, S. y González, F. (2011). *Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares. Industrias*. Caracas: Unicon, C.A.

Silva, M. (2009). *Estructuras metálicas en la arquitectura venezolana 1874-1935. El carácter de la técnica*. Caracas: Ediciones Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCV.

Strike, J. (2004). *De la construcción a los proyectos. La influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico, 1700-2000*. Barcelona: Editorial Reverté.