

Los sistemas de indicadores de ciencia, tecnología e innovación como sistemas sociotécnicos

Indicator systems of science, technology and innovation as socio- technical systems

Dr. Julio E. Rubio¹ (México)

Tecnológico de Monterrey, Zona Metropolitana de la Ciudad de México

jerb@itesm.mx

Dra. Elda C. Morales² (México)

Tecnológico de Monterrey

eldamorales@itesm.mx,

Dr. Ntumbua Tshipamba³ (México)

Tecnológico de Monterrey, Campus Puebla

stantumbua@itesm.mx

Resumen

La comprensión de los Sistemas Nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación, sustentada en la distinción entre Objeto Epistémico y Tecnológico, es un esfuerzo para introducir mayor claridad en las políticas públicas de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bajo esta perspectiva, se puede y se debe apreciar en su justo valor la labor de los diferentes y diversos agentes involucrados en la producción, la difusión y la utilización del conocimiento científico y tecnológico como parte de estrategias nacionales, regionales o internacionales en pro de la sociedad del conocimiento bajo el paradigma de Sistemas Sociotécnicos.

Palabras clave: Sistemas sociotécnicos; objeto tecnológico; objeto epistémico; agentes de ciencia; tecnología e innovación; entorno social.

Abstract

An understanding of science, technology and innovation indicator construction as a sociotechnical system can bring greater clarity to public policies of science, technology and innovation. We explore the scope of an open system by examining the following concepts: system, sociotechnical system, epistemic object, technological object and structure. We apply each of these concepts to STI indicator systems and conclude that STI systems are open and continually interact with their social environment, thus generating a feedback

cycle. With this analysis, we hope to contribute to the understanding of political decision-making processes concerning STI.

Keywords: Science agents; social environment; epistemic object; technological object.

Introducción

En el marco de la sociedad del conocimiento que nos tocó vivir y de la cual todos estamos invitados a ser partícipes o protagonistas en diferentes niveles, la inversión en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) se ha vuelto un imperativo de primer plano para casi todos los gobiernos contemporáneos. De manera crítica, ¿Qué justifica esta inversión? ¿Cómo saber qué se está invirtiendo, dónde y cuánto se tenía que invertir? Para responder a estas dos preguntas y muchas otras, que serían sus corolarios, se impone un esfuerzo de análisis histórico-teórico y crítico de un concepto: los Sistemas de Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación como Sistemas Sociotécnicos.

Para realizar este análisis, marcaremos la demarcación entre la ciencia antes y después la Segunda Guerra Mundial, resaltando así la exigencia de la ciencia en la posguerra de medirse a partir de un enfoque esencialmente, y no exclusivamente, pragmático. A partir de este marco de referencia epistémico-temporal, nos proponemos examinar sucesivamente los conceptos Sistema, Sistema Sociotécnico, Objeto Epistémico, Objeto Tecnológico y Estructura para entender el alcance de un Sistema Abierto, lo que desemboca en la comprensión del carácter abierto de los Sistemas de Indicadores de CTI, en interacción con el entorno social. De esta manera, esperamos unirnos al esfuerzo de la comunidad científica en el ámbito de las ciencias sociales para introducir mayor claridad en los procesos de toma de decisiones políticas y los esfuerzos de invertir de manera estratégica en las áreas de la Ciencia, Tecnología e Innovación.

La CTI presenta una rápida evolución global después de la Segunda Guerra Mundial que se refleja en la evolución de los sistemas para su medición. Para sostener esta idea Geisler (2000) comenta que el estudio de la CTI y su evaluación comienza con los avances realizados en Estados Unidos justo después de la Segunda Guerra Mundial, apareciendo una creciente inversión en I&D pública y privada, y en su nivel de institucionalización. Esta institucionalización se sustenta en diversos factores económicos, políticos y sociales que crean un ambiente propicio para el desarrollo de la ciencia. Siguiendo a este autor, estos factores son tres: el rápido desarrollo de invenciones e innovaciones en aquellos años de guerra, dada la utilidad de éstas en aspectos militares; la inversión masiva del gobierno que otorgó a la CTI, por ejemplo, el proyecto Manhattan que produjo la bomba atómica; y el reconocimiento del valor de la CTI como elemento estratégico de su fuerza militar.

Geisler (2000) recuerda a Lord Kevin (1824-1907), quien afirma que si algo no puede ser medido, entonces no interesa realmente, y la ciencia, tecnología e innovación también deben apoyarse en la medición como herramienta para su estudio y comprensión, y para su aplicación en políticas científicas y tecnológicas. En un ambiente donde la CTI se institucionaliza, la medición se vuelve muy importante para poder determinar los programas en los que el Estado debe invertir, así como saber cuáles de estas inversiones impulsarán el desarrollo científico y cómo maximizar sus resultados (Godin, 2002). Según

Truffer (2002) la necesidad de indicadores de ciencia y tecnología surge por parte de los Estados al requerir, por un lado comparación y evaluación en el tiempo entre países y regiones, y por el otro, información que sustente la planificación y acción política, ya sea orientada tanto a objetivos globales o sectoriales, como a decisiones sobre las instituciones del sistema de ciencia y tecnología, tales como ubicar áreas prioritarias, promover procesos de innovación tecnológica, determinar necesidades de capacitación del personal científico, entre otros.

Las estadísticas son construcción del Estado con el fin de controlar e intervenir socialmente; un instrumento de racionalidad, donde la ciencia es medida con un fin socio-económico que motiva la intervención del gobierno (Godin, 2002). Para entender este sentido de control, retomamos dos definiciones. La primera es la de Hacking en la que se refiere a cómo clasificar y medir conforma a los individuos en una nueva manera de comportamiento y pensamiento sobre ellos mismos. Clasificar para controlar modifica a las personas, que en un cierto sentido no existían antes, quienes adquieren ciertas propiedades que si logramos entenderlas, seremos capaces de controlar, ayudar, cambiar o emularlas de mejor manera (Hacking, 2006). La segunda definición asume que las estadísticas permiten al gobierno intervenir en la esfera social aunque no necesariamente para controlar (Godin, 2002). En este sentido, las estadísticas e indicadores son instrumentos que permiten al Estado intervenir en la sociedad y en el discurso científico.

Un breve recorrido histórico nos señala que “el primer país que utilizó información estadística sobre ciencia y tecnología fue la Unión Soviética en 1930. Posteriormente, en 1940 Estados Unidos comenzó a recopilar los primeros datos estadísticos sobre esta actividad. Y es en la posguerra cuando los estados dominantes e instituciones internacionales como la UNESCO y OECD comienzan a trabajar en la construcción de un sistema conceptual y metodológico consensuado...” (Truffer, 2002: 2). Este sistema conceptual y metodológico ayuda a homogenizar los datos y permite la comparación internacional en distintos periodos de tiempo, eliminando así los problemas iniciales que ocasionaba el que cada país tuviera sus propias estadísticas, indicadores y métodos de recolección de datos.

En este contexto, el Grupo de Expertos Nacionales en Indicadores de Ciencia y Tecnología (NESTI) junto con la OECD, ha trabajado durante 40 años en la elaboración de manuales para ser la guía metodológica en la construcción de indicadores, que permitan mediciones y comparaciones internacionales. La *Familia Frascati* es el conjunto de cinco manuales elaborados por la OECD para la elaboración de indicadores de ciencia y tecnología. El Manual de Frascati describe la medición de los gastos y recursos humanos destinados a Investigación y Desarrollo Experimental. El Manual de Oslo da los lineamientos para la recolección y uso de datos relacionados con las actividades de innovación en la industria. El Manual de Canberra norma la medición de los recursos humanos dedicados a actividades científicas, tecnológicas, de innovación y transferencia de tecnología. El Manual de BPT norma la medición de las transacciones comerciales relacionadas con el conocimiento científico y tecnológico. Por último, el Manual de Patentes da los lineamientos internacionales para registrar invenciones. La construcción de indicadores ha ido evolucionando según la creación de cada uno de los manuales a lo largo

de estos últimos 50 años, instituyéndose un sistema de indicadores formal, compatible y compartido por muchos más países.

Para entender los sistemas de indicadores de CTI como sistemas sociotécnicos, basados en su estructura, composición y categorización, se proponen los conceptos de sistema y sistema sociotécnico, estructura, objeto epistémico y objeto tecnológico, así como el análisis del proceso o ciclo que sigue este sistema y su impacto en la sociedad. El objeto tecnológico es el elemento que da sentido y coherencia a las operaciones de los sistemas sociotécnicos, adoptando la forma de reportes de indicadores organizados bajo categorías de clasificación.

Sistema

Para comenzar, recordamos la versión clásica de Bertalanffy (1976) que concibe la noción de sistema como un todo organizado, integrado por partes bajo interacción, es decir, como un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas. Hughes (1987) define los sistemas tecnológicos, los cuales incluyen organizaciones, artefactos científicos y artefactos legislativos⁴, y entre estos la presencia constante de artefactos tecnológicos, interactuando todos entre sí, bajo un mismo objetivo. Según Rubio (2004), la teoría de sistemas reconoce la unidad de sus objetos de estudio así como la existencia de una estructura subyacente a esa unidad, surgiendo así una entidad que se diferencia de su entorno a partir de una continua auto-replicación de operaciones, bajo condiciones establecidas por la misma estructura. En los sistemas sociales la unidad se manifiesta por una referencia permanente que es tratada de diferente manera por diversos autores (por ejemplo, en el caso de Latour (2001) se llama referencia circulante o en el caso de Hughes (1987) artefactos tecnológicos) pero para nuestro caso es el *objeto tecnológico*.

En el caso de los sistemas de indicadores de CTI, las relaciones entre los elementos se traducen fundamentalmente en el flujo de información. Es decir, la entropía⁵ del sistema se contrarresta mediante el flujo de información. En palabras de Luhmann, la información es la que suscita diferencias ulteriores en la reestructuración interna del sistema; una diferencia que provoca diferencia y que presupone un sistema autorreferencial que transforma sus propios estados con base en el movimiento de esos mismos estados internos. Para reforzar que la elaboración de indicadores corresponde a un sistema, indiquemos con Bunge (2002) dos criterios. El primer se basa en que “una cosa es un sistema si y solo si se comporta como un todo en ciertos aspectos, es decir, si tiene leyes propias en cuanto a totalidad... [y el segundo afirma que] una cosa es un sistema si y solo si su comportamiento cambia apreciablemente cuando se quita uno de sus componentes o se le reemplaza por otro de clase diferente” (Bunge, 2002: 99-100).

La noción de sistema rescata la unidad o totalidad de la diversidad, la centralización del pluralismo, lo permanente de lo variable, y la coherencia del caos (Hughes, 1987). Estas características, en palabras de Pickel (2007), se convierten en teorías de la complejidad o teorías del caos, que aún cuando se presentan con diferentes nombres, les subyace una orientación sistémica. Señalemos que autores como Pickel (2007) afirman que siguen existiendo problemas ontológicos y metodológicos en la concepción de un sistema, además

de cuestionar la teoría de Luhmann, la idea de holismo (totalidad) y la sugerencia de un nuevo concepto: el sistemismo.

En principio, Pickel (2007) afirma que existen diferentes fuentes de inspiración y una variedad de enfoques en torno al concepto de sistema, sin existir un consenso universal sobre este. Propuestas como el *emergentismo* de Dave Elder-Vass, la *auto-organización* de Erika Summers-Effler, la *teoría de la complejidad* de Sylvia Walby, o la teoría de *sistemas evolucionarios* de Wolfgang Hofkirchner, pretenden poner a prueba la teoría de Luhmann, y lograr un consenso sobre las bases ontológicas y metodológicas del concepto de sistema. Pickel propone una serie de básicos ontológicos y metodológicos para la comprensión de los sistemas, y de manera indicativa, se puede mencionar : (1) los sistemas son entidades reales, (2) cada sistema concreto está directa o indirectamente relacionado con todos los otros sistemas que conforman su entorno, (3) algunos sistemas están ordenados jerárquicamente y otros no, (4) los sistemas tienen un diferente alcance temporal y espacial, (5) un sistema consiste en componentes y sus relaciones entre sí (organización o estructura), así como procesos clave (dinámicas o mecanismos) que hacen que funcione.

En el caso de los básicos metodológicos, Pickel menciona, entre otros: (1) los sistemas existen independientemente de los modelos, conceptualizaciones, o teorías a través de las cuales tratamos de entenderlos y explicarlos, (2) conceptualizaciones para órdenes más complejos necesitan ser desarrollados, (3) el tiempo y espacio son dimensiones cruciales en la justificación o explicación del sistema, y (4) mientras que el concepto de sistema como entidad sugiere estática, el mecanismo o dinámica de cualquier sistema son centrales explicando la emergencia, persistencia, y disolución del sistema concreto. Retomando las cinco bases ontológicas y contrastándolas con los sistemas de indicadores de CTI, nos damos cuenta que se reafirma nuestro argumento de entenderlos y analizarlos como sistemas, dado que es una entidad real; un sistema concreto que se relaciona con otros sistemas, tal como las políticas públicas o la sociedad y los propios subsistemas como sistemas mismos; se encuentra ordenado jerárquicamente dado que existe una agencia central que concentra los flujos de información de los demás subsistemas, construye y publica los indicadores; y presenta una estructura y mecanismos claramente definibles, de los cuales hablaremos mas tarde.

Por su parte, Summers-Effler concibe al sistema como un resultado temporal de auto-organización, con una pregunta central: ¿cómo es que esta auto-organización emerge, persiste y se transforma? Para responder a esta inquietud, esta autora propone los *flujos turbulentos* en lugar de redes, campos o sistemas, donde los mismos actores crean constancia en la organización social, sosteniendo supuestos acerca de la estabilidad. Esta autora coincide con la idea de Elder-Vass sobre cómo integrar los sistemas de significados en su ontología y metodología. (Pickel, 2007). En contraste, S. Walby afirma que el enfoque sistémico parte de la teoría de la complejidad, la cual define como “una colección de trabajo suelto que conduce a preguntas fundamentales sobre la naturaleza de los sistemas y sus cambios” (Pickel, 2007: 398). Lo anterior significa que, contrario a un mundo social formado jerárquicamente por sistemas y subsistemas, cada sistema toma como entorno a todos los demás sistemas, caracterizando esto como una posición ontológica que permite

mayor flexibilidad en la conceptualización de un sistema, que la basada en la distinción de parte-todo (Pickel, 2007).

Finalmente, la posición de Hochkirchner sobre los sistemas evolucionarios, como un enfoque sistémico, supera la división entre individualismo y holismo, o entre teorías de acción o teorías de sistemas, a partir del concepto antes propuesto por Summers-Effler: la auto-organización. En su argumento, este autor retoma las ideas de Bunge, el cual afirma que un sistema no puede ser definido únicamente por sus elementos e interrelaciones, sino también por los procesos que realmente hacen al sistema ser un sistema (Pickel, 2007). Como parte de la aportación de Hochkirchner a la discusión de este tema, se encuentra el uso del sistema sociotécnico en el estudio que hace sobre la evolución del internet, afirmando que uno de los grandes errores sobre estos estudios ha sido estudiar por separado a la tecnología y a la sociedad.

El punto central según Pickel es que los sistemas sociales, o sistemas concretos, son relaciones entre sus elementos (estructura/arquitectura) y sus relaciones con otros sistemas naturales o sociales (entorno). Dicho de otra manera, las características del sistema son resultado de su estructura y entorno; “las entidades emergen y existen como resultado de procesos clave (mecanismos/dinámicas) en un sistema” (Pickel, 2007: 401). En este marco, el concepto de mecanismo complementa un sistema, siendo un medio explicativo, y para definirlo, Pickel retoma el argumento de Bunge quien afirma que “el mecanismo además de ser usado como concepto, debería ser visto como una característica de la realidad...dado que los mecanismos son procesos centrales en sistemas concretos, y una explicación basada en el mecanismo no tiene sentido si no está acompañada de un enfoque y ontología sistémica” (Pickel, 2007: 394).

A partir de lo anterior, Bunge (2004) afirma que el enfoque de sistemismo surge y se justifica por dos razones. La primera porque hay tantas teorías de sistemas como teóricos de sistemas; la segunda porque el enfoque “teoría de sistemas” que fue popular en los años 70’s fue otro nombre dado al viejo holismo, el cual se desacreditó debido al enfatizado estatismo a expensas del cambio y la afirmación de resolver todos los problemas particulares sin investigación empírica o una seria teorización (Bunge, 2004: 190).

Retomando la perspectiva de Pickel, se notará que el modelamiento de un sistema es necesario dado que aún cuando los sistemas son reales, éstos no pueden ser observados directamente, por lo que el uso de un enfoque sistémico solo nos dice qué buscar sobre la composición, estructura, mecanismo y entorno, llegando así a conjeturas o acercamientos sobre lo que son (Pickel, 2007: 402). En este marco, el estudio de los sistemas de indicadores de CTI mediante el enfoque sistémico resulta pertinente, puesto que podemos analizar su composición y estructura (cinco subsistemas), el proceso o ciclo de la construcción de indicadores, con una temporalidad y espacio claramente definibles, y el impacto en su entorno inmediato (políticas científicas/públicas). En todo eso, la razón de ser de los sistemas de indicadores de CTI es la producción y publicación de indicadores a partir de la información de diferentes subsistemas o instituciones.

Después de revisar el trabajo de Pickel y las posturas que presenta de distintos autores, nos damos cuenta que al final no supera la teoría de Luhmann en cuanto a mayor

explicación o teorización, además de coincidir con la idea de la auto-organización, que en términos de Luhmann se conoce como autopoiesis. Precisamente en un estudio que hace este autor al final de su trabajo, en relación al número de artículos que incluyen palabras clave relacionadas a los sistemas en dos periodos: 1990-1999 y 2000 a 2007, encuentra que Luhmann ha tenido un gran impacto en el primer periodo en sociología, pero mucho mayor en el segundo periodo, principalmente en ciencia política, psicología y economía (en ese orden), teniendo como palabra clave la autopoiesis (Pickel, 2007: 407).

Para propósito de los sistemas de indicadores de CTI, sistema es un todo cuya operación fundamental es el flujo de información, que va a dar sentido a todo el sistema. Este flujo de información surge entre los elementos del sistema que son la agencia central, las universidades y centros de investigación, las empresas, los organismos internacionales y los organismos gubernamentales. Los elementos del sistema son heterogéneos e interactúan continuamente con el entorno, y lo que lo convierte en un sistema sociotécnico es la estabilización del objeto epistémico para dar paso al objeto tecnológico: los reportes de indicadores. Entender los indicadores implica entender profundamente el contexto de construcción de cada manual metodológico y conocer cómo se modifican los procesos internos. El sistema de indicadores vive una constante evolución y se reconstruye permanentemente en tanto los flujos de información se mantienen, actualizando conceptos, metodologías, el estudio de nuevos casos, la detección de nuevas necesidades, nuevas maneras de medirlas y nuevos procesos, convirtiéndose en el sentido del objeto epistémico y tecnológico. Cada elemento sostiene la estructura del sistema, transmitiendo un tipo de información, dirigido a la agencia responsable de la construcción de indicadores. Se concluye que un sistema de indicadores es un todo que surge de la interacción de las partes y no una mera abstracción.

Sistema Sociotécnico

El término de *sistema sociotécnico* nace en los años 50's en un afán de explicar la operación de grupos sociales en ambientes tecnológicos, donde los investigadores reconocen que los factores técnicos y sociales interactúan e influyen los resultados organizacionales (Griffith & Dougherty, 2001). Esta idea es concebida en primera instancia en estudios de grupos de trabajo y sus condiciones laborales, por la sociología de la industria en años previos a la primera guerra mundial. Posteriormente estudios como los de Mayo (1975) destacan la importancia del factor humano en cualquier sistema productivo cuyas condiciones laborales afectaban (positiva o negativamente) el rendimiento de los trabajadores (Gallino, 2005). Estos estudios e ideas son formalmente combinados por F.E. Emery, E.L. Trist, P.G. Herbst y L.E. Davis del Tavistock Institute, en los años 50's acuñando formalmente el concepto de sistema sociotécnico.

Los trabajos previos al nacimiento del término *sistema sociotécnico*, no sólo fueron en relación a la industria y a la sociología del trabajo, sino que una corriente fuerte previa fue el determinismo tecnológico. Según Griffith & Dougherty (2001) el trabajo de Trist y Bamforth en 1951 sobre el cambio tecnológico en las minas de carbón, es una lucha y una propuesta alterna contra el enfoque determinista, resaltando que los resultados humanos y organizacionales podrán ser entendidos sólo cuando los sistemas social, psicológico,

ambiental y tecnológico sean evaluados como un todo. El trabajo de las minas muestra que el trabajo dependía en gran medida de la colaboración entre dos o tres mineros capacitados que trabajaban con cierta autonomía sobre métodos específicos. Con el objetivo de maximizar la extracción de carbón, se implementó una nueva tecnología, pero esta no funcionó a consecuencia de la falta de capacitación en los trabajadores. Los autores concluyen que la integración de una tecnología requiere de la integración social, de tal manera que lo técnico y lo social vayan de la mano. Este enfoque se convierte en la perspectiva conocida como sistemas sociotécnicos (STS), la cual asume que “las organizaciones están hechas de gente (sistema social), utilizando herramientas, técnicas, y conocimientos (sistema técnico) para producir bienes y servicios valorados por los consumidores (quienes son parte del ambiente externo de la organización)” (Griffith & Dougherty, 2001: 207).

Continuando con estos autores, el concepto de sistema sociotécnico ha sido usado de dos maneras: el primero en el diseño del trabajo para el bien organizacional y humano, donde la calidad de vida en el trabajo es clave; y la segunda tiene una orientación más teórica con el objetivo de entender las relaciones entre personas, tecnología y resultados organizacionales, y en este punto los autores recuerdan a Majchrzak & Borys (2000) quienes afirman que esta perspectiva fue originalmente desarrollada desde la teoría de sistemas abiertos constituida por Bertalanffy en 1950. En otras palabras, los trabajos posteriores a los años 50's aceptan que los sistemas sociotécnicos son sistemas que contienen elementos físicos, sociales y cognitivos, usados y construidos por las personas en cada práctica, superando al determinismo tecnológico de dos maneras: (1) abriendo la caja negra de la tecnología y demostrando que la tecnología puede ser estudiada en detalle, y (2) aportando la noción de teoría de sistemas.

La idea de la tecnología socialmente construida es un asunto que no quedó claro a los partidarios del determinismo tecnológico, y que condujo a una nueva ola de estudios: los estudios sociales de la ciencia y la tecnología (constructivistas sociales). Al respecto, y regresando con el trabajo de Griffith & Dougherty (2001), quienes realizan un recorrido por algunos trabajos realizados en este tema, resaltan la necesidad de ir más allá en el análisis de los sistemas sociotécnicos. Algunos de estos trabajos como el de Barley (1986) afirman que antes de que el diseño de un proceso organizacional en STS pueda empezar, la comprensión y el significado de lo social y lo tecnológico debe ser construido, que en palabras de DeSanctis & Poole (1994) el uso y significado de los sistemas sociotécnicos deberán ser negociados.

Desde la historia de la tecnología, Hughes y su trabajo realizado sobre la electrificación en Estados Unidos en 1987 propone una definición del sistema sociotécnico. Según Santos & Díaz (2003) la noción de este autor surge como un programa de investigación alternativo al de la concepción estándar de la tecnología. Para Hughes un sistema sociotécnico está conformado por componentes heterogéneos en interacción continua, donde intervienen “artefactos técnicos, organizaciones, reglamentaciones jurídicas, recursos naturales que va utilizando, significados que los actores sociales otorgan a cada componente del sistema y al proceso mismo de su constitución, los rituales, el mercado, o las creencias religiosas” (Santos & Díaz, 2003: 357).

Estos autores sugieren para el estudio de un sistema sociotécnico, la aplicación tanto del enfoque de sistema (técnica-racional) como el enfoque de actor (agentes intencionales), que aunque contienen diferentes metodologías, terminologías y aplicaciones, también tienen similitudes que ayudan a entender mucho mejor la complejidad de los sistemas sociotécnicos. Estos enfoques en palabras de Kaghan & Bowker (2001) se conocen como enfoque racional/funcional (sistema) y pragmático/cultural (red de actor), y ambos autores coinciden en que la tradición de los sistemas sociotécnicos en los años 50's y 60's tenía una carga más racional, enfocada a la solución de problemas, que pragmática, aún cuando había desafiado al determinismo tecnológico.

Por su parte, Kaghan & Bowker afirman que el enfoque racional/funcional ha sido tradicionalmente asociado con una imagen de profesionales al mando de una organización de tal manera que su función/rol es asegurar que la organización continuamente se adapte a su entorno, es decir, la organización se comporta como un autómatas (máquina) en el que el cuerpo pasivo de la organización es controlado por el cerebro activo de la organización⁶. Según estos autores, este enfoque ha sido desarrollado en función de la comprensión de la cibernética, la teoría general de sistemas, y la teoría de decisiones (1950-1960) dando paso a la arquitectura de la complejidad, en el que los STS se mantienen como redes auto-organizadas compuestas por agentes intencionales o decididos, donde la interdependencia del sistema social y técnico co-evolucionan hasta el borde del caos. Por el contrario, el enfoque pragmático/cultural pone más énfasis en la sensibilidad del comportamiento de las personas determinado por la situación o el momento, por lo que este comportamiento no puede ser representado como el óptimo en un sentido universal. Estos autores consideran al enfoque racional/funcional como el precursor de este enfoque pragmático, y un ejemplo característico de este es la teoría de red de actores.

Desde el trabajo de Trist y Bamforth sobre las minas de carbón se considera el nuevo enfoque de los STS con una orientación más pragmática, aunque en su momento no tan desarrollada, según Kaghan & Bowker, como en los trabajos posteriores sobre red de actores, donde existe énfasis en el proceso de invención e innovación ligado a la planeación y administración, acercándose más a entender cómo el conocimiento tácito es desarrollado fuera y dentro de la organización. En definitiva, la principal diferencia entre ambos enfoques es la noción de jerarquización, que el enfoque racional/funcional tiene como base, pero que el enfoque pragmático/cultural refuta, basándose en una estructura sociotécnica de orden negociado, en el que no existe una sola autoridad o función dominante al que el resto de las funciones deben estar subordinadas.

Otros trabajos como el de Brujin & Herder (2009) coinciden con los enfoques antes mencionados. Para ellos, el enfoque de sistema ofrece un análisis desde el punto de vista mecánico, descomponiendo al sistema en subsistemas, identificando su función dentro del sistema, las entradas y salidas de cada uno, además de las interrelaciones entre ellos. El enfoque de actores ofrece un análisis considerando actores con la habilidad de aprender⁷, cuyo proceso de decisiones es dinámico, con variedad de intereses y estrategias aplicadas. En este caso, los sistemas de indicadores de CTI tienen elementos técnicos-rationales como las metodologías necesarias y los indicadores en sí mismos, así como actores intencionales tal como la agencia central del sistema, confirmando que se comportan como sistemas

sociotécnicos. El uso de estos dos enfoques para analizar la complejidad de los sistemas sociotécnicos, propuestos por Brujin & Herder nos confirman que nuestro sistema se puede dividir en cinco subsistemas principales interrelacionados, y que como mencionábamos antes, estos subsistemas son sistemas en sí mismos, y el sistema de indicadores de CTI es un subsistema de otro sistema. Por otro lado, entender estos subsistemas como actores intencionales con intereses propios, nos permite analizar y reconocer a la agencia central encargada de la construcción del sistema de indicadores y las relaciones que tiene con el resto de agentes. Como parte de la presencia de agentes en un sistema, estos aceptan que deben existir reglas de juego en su proceso de interacción, las cuales guiarán sus interacciones (Brujin & Herder, 2009).

Concluimos que el sistema sociotécnico es una organización en la que interviene un sistema social y un sistema técnico para producir un objeto tecnológico. El sistema social en los sistemas de indicadores de CTI incluye universidades, empresas, una agencia central, organismos internacionales y organismos gubernamentales. El sistema técnico incluye todas aquellas herramientas utilizadas durante el proceso del sistema desde la etapa de recolección de datos, hasta la de análisis, interpretación y publicación de reportes. Esta última etapa se entiende como la interacción del sistema sociotécnico con el entorno, que en primera instancia son los organismos encargados de publicar las políticas públicas, específicamente las políticas de ciencia y tecnología. El uso combinado de enfoques (racional/STS/pragmático) ayuda a entender que en los sistemas de indicadores existe una autoridad o agencia central que condensa la información producida y enviada a esta, por el resto de los elementos, siendo la principal responsable de la construcción de indicadores, entendiéndolo como una jerarquización de funciones. El enfoque pragmático da importancia tanto al proceso de generación de indicadores, como a los actores (humanos-no humanos) que intervienen en el proceso y que son clave para conseguir el objetivo del sistema. La complejidad del sistema sociotécnico de indicadores de CTI es alta debido a la naturaleza de los indicadores de no tener un valor ideal, sino un significado consensuado. Esta complejidad es lo que da sentido al objeto epistémico y a la continua redefinición de conceptos y metodologías.

Objeto Epistémico y Tecnológico.

Saber qué medir es el primer principio de la medición y determina tanto las medidas e instrumentos a utilizar, como el valor que tendrá el resultado de esa medición (Geisler, 2000). La CTI como fenómeno multifacético presenta el reto de saber en concreto qué se quiere medir para saber cómo hacerlo y obtener los resultados deseados. Los sistemas sociotécnicos tienen como sentido la producción de artefactos que pueden ser tanto técnicas como máquinas. La duración de estos artefactos y del conocimiento en un sistema sugiere la noción de trayectoria, del *momentum* alcanzado por el sistema después de un prolongado crecimiento y consolidación (Hughes, 1987).

Utilizando los términos de Rheinberger (1992), usaremos el concepto de objeto epistémico para identificar la referencia del sistema de investigación que construye el cuerpo de conocimiento necesario para producir un tipo de objeto que constituye su sentido final y al que llamaremos “objeto tecnológico”. Para los sistemas de indicadores, el objeto

tecnológico corresponde con los reportes de indicadores de CTI y las metodologías para construir esos reportes. El objeto epistémico de estos sistemas trata de entender qué es un indicador y cómo se construye. En la sociedad del conocimiento, la construcción del objeto epistémico, según Reijo & Jaakko (2005), se está convirtiendo en la parte más importante de cualquier sistema experto, puesto que estos objetos no mantienen cualidades fijas, por el contrario, están abiertos a proyecciones que aún no existen o que aún no conocemos con seguridad, convirtiéndose en generadores de nuevas concepciones y nuevas soluciones, logrando ser vistas como fuente central de innovación y reorientación de las prácticas sociales.

En palabras de Reijo & Jaakko, la diferencia entre el objeto epistémico y tecnológico es funcional en su naturaleza, dado que el estatus de una entidad depende del lugar que ocupa en el sistema experimental; el objeto epistémico sólo se puede entender como parte del desarrollo o evolución histórica de los sistemas experimentales. Similar a estos autores, en el trabajo de Vallerino-Bracho (2004) se retoma el argumento de Rheinberger desarrollado en su trabajo *Experimento, Diferencia y Escritura*, publicado en el año 2000 en el que “una cosa epistémica es todo objeto científicamente investigado, centro de procesos de investigación y que puede ser definido materialmente, distinguiendo estos objetos epistémicos de los tecnológicos que son fijos y sirven de momentos de estabilización de las condiciones experimentales” (Vallerino-Bracho, 2004: 31). Es decir, en palabras de esta autora, esta distinción realizada por Rheinberger es en función de la distinción clásica entre instrumento listo para su uso y el objeto de investigación que suscita interrogantes y que puede llegar a ser un objeto tecnológico tal como mencionamos antes. Sin embargo, según esta autora, esta distinción resulta problemática en la actualidad, dado que los objetos tecnológicos pueden ocupar ambos papeles, estar listos para su uso y al mismo tiempo ser objetos en vía de transformación que se someten a un proceso continuo de investigación. En virtud de este hecho, Vallerino-Bracho recurre al ejemplo de las computadoras y los programas de computación, dado que constantemente aparecen nuevas actualizaciones, y nuevos modelos, siendo objetos epistémicos y tecnológicos a la vez. El objeto epistémico se convierte entonces en revelación y articulación vinculada con el saber, siendo éstos abiertos, complejos y generadores de interrogantes, resultando en procesos y proyecciones, más que en cosas definitivas, donde la interrogación tiende a aumentar su complejidad; son relatos de inteligencia y de adquisición de conocimiento, resultado de las relaciones que los expertos y los otros establecen con los objetos (Vallerino-Bracho, 2004: 32).

Continuando con la noción de objeto u artefacto tecnológico, Santos & Díaz (2003) afirman que éstos están configurados al menos por una triple racionalidad: la epistémica, que se encuentra presente en el proceso de creación; la instrumental que nos remite a los propósitos e intereses que guían a los actores del sistema, y la práctica, muy relacionada con el uso y asimilación de los conocimientos científicos y tecnológicos y vinculada con la capacidad de diversos actores para integrar los sistemas sociotécnicos, en otras palabras para integrar diversas instituciones heterogéneas. El objeto epistémico de los sistemas de indicadores de CTI ha evolucionado constantemente, reestructurando el sistema y generando nuevos objetos tecnológicos, más completos, más desarrollados y buscando medir cada vez más actividades y procesos de CTI que experimentan diversos países y

organismos. Los sistemas de indicadores, como sistemas dinámicos, presentan “el movimiento del contenido significativo de la estructura...que deconstruye y reproduce diferencialmente al objeto de estudio hasta alcanzar un estado estable donde el objeto deja de transformarse” (Rubio, 1999: 122).

El principal objeto de investigación de los sistemas de indicadores está dado por la noción misma de indicador. No existe una definición universalmente aceptada del concepto aunque si hay referencias y definiciones operacionales que ayudan a entenderlo. Por ejemplo Mondragón (2002) recuerda la idea de la ONU que define al indicador como una herramienta para clarificar y definir de manera más precisa objetivos e impactos, siendo medidas verificables de cambio o resultado diseñadas para contar con un estándar contra el cual evaluar, estimar o demostrar el progreso con respecto a metas establecidas. Esta definición se complementa con la de la UNESCO-WAPP (2003) en la que afirma que un indicador pretende simplificar la descripción y la explicación de un sistema, proceso o situación, y efectivamente, permite evaluar, de manera sencilla y fiable, los aspectos complejos de un sistema, proceso o situación, es decir, presenta fenómenos complejos resumidos en cifras sencillas y evaluaciones descriptivas. Por su parte Truffer (2002) considera al indicador como una variable empírica que permite inferir el comportamiento de una variable especulativa, es decir, los conceptos pueden ser operacionalizados a través de indicadores. Por nuestra parte, concluimos que un indicador es una medida cuantitativa o cualitativa que sintetiza información que se desea evaluar a través del tiempo, y se construye a partir de información disponible que responda preguntas específicas en un contexto específico, así como la estandarización de dicha información que permita la comparación entre actores relacionados.

Los indicadores de CTI son puntos de referencia para evaluar las actividades de ciencia, tecnología e innovación, detectando variables concretas que se deben operacionalizar. Estos indicadores permiten evaluar y entender la complejidad del fenómeno de CTI. Existen diversas categorías y número de indicadores en este sistema, pero las tres principales son: inversión, resultado e impacto. Para definir estas tres categorías, retomamos Sancho (2002), quien define a los indicadores de inversión como aquellos que están relacionados tanto con los gastos como con el recurso humano dedicados a la CTI. Los indicadores de resultado corresponden a los bienes producidos durante el proceso de innovación, es decir los beneficios que resultaron de ciertas inversiones en CTI. Los indicadores de impacto (*impact*) también son de resultado pero se distinguen particularmente por generar crecimiento en la economía de un país (PIB) de alguna manera y un ejemplo son las exportaciones de bienes de alta tecnología (Comercio en Industrias de Alta Tecnología).

Según Horn (1993) un indicador es expresado principalmente como: (1) estadísticas en series de tiempo o en un punto en el tiempo, (2) comparaciones de componentes estructurales, y (3) comparaciones de diferentes entidades (regiones, empresas). En este sentido, un dato estadístico aislado o solo, no tiene sentido si no se compara con el mismo en otros periodos de tiempo, dentro de un marco específico, lo cual conduce a decir que un evento no es independiente de otros eventos históricos, convirtiéndose los indicadores en el vínculo entre la observación estadística y un fenómeno. A partir de lo anterior, se resuelve

el problema de confundir indicadores con estadísticas, concluyendo que la estadística como ciencia es la encargada de “reunir todos los hechos que se pueden valorar de forma numérica para hacer comparaciones entre cifras y sacar conclusiones aplicando la teoría de probabilidades” (Mondragón, 2002: 54), y se caracteriza de manera general por su medida y descripción de fenómenos a partir de metodologías y técnicas exhaustivas y permanentes. Todas las estadísticas no pueden ser consideradas indicadores. En base a lo anterior, los indicadores son estadísticas con propósitos.

En este marco, los indicadores proveen una guía para expresar estas comparaciones en una escala sistemática: “un solo dato, en tiempo o espacio, toma vida cuando se relaciona con otros que indican una dirección y cierta magnitud” (Horn, 1993: 7). Los indicadores en términos generales pueden clasificarse en: (1) cuantitativos -mediciones numéricas de cambio-, (2) cualitativos -percepciones y actitudes-, (3) entrada -recursos asignados para que funcione un proceso-, (4) proceso -recursos o procesos que están en curso y miden desempeño-, (5) resultado -consecuencias de los diversos procesos implementados-, (6) impacto -consecuencias o resultados que implican un mejoramiento significativo-, (7) contexto -son parte del ambiente que afecta el proceso, sistema o fenómeno observado-. Los indicadores también pueden ser clasificados según el área o dimensión al cual pertenece el fenómeno a estudiar, que en nuestro caso corresponde a las categorías de indicadores.

Según Mondragón los indicadores presentan las siguientes características: (1) pertenecen a un marco teórico o conceptual; (2) son específicos y se vinculan con los fenómenos económicos, sociales, culturales o de otra naturaleza sobre los que se pretende actuar teniendo objetivos claros; (3) son explícitos de manera que su nombre sea suficiente para entender qué tipo de indicador es cada uno de ellos; (4) están disponibles para varios años y poder observar el comportamiento del fenómeno a través del tiempo, regiones y/o unidades administrativas y lograr tener comparación; (5) son relevantes y oportunos para la aplicación de políticas que permitan establecer metas y transformarlas en acciones; (6) no son exclusivos de una acción específica por lo que pueden servir para estimar el impacto de dos o más fenómenos; (7) son claros y de fácil comprensión para los miembros de la comunidad, eliminando la confusión con su significado; (8) cada indicador debe tener su definición, forma de cálculo y metadatos para su entendimiento, es decir, ser autónomo; (9) técnicamente deben ser sólidos, válidos, confiables, comparables, factibles, exactos y consistentes; y (10) ser sensibles a los cambios en el fenómeno.

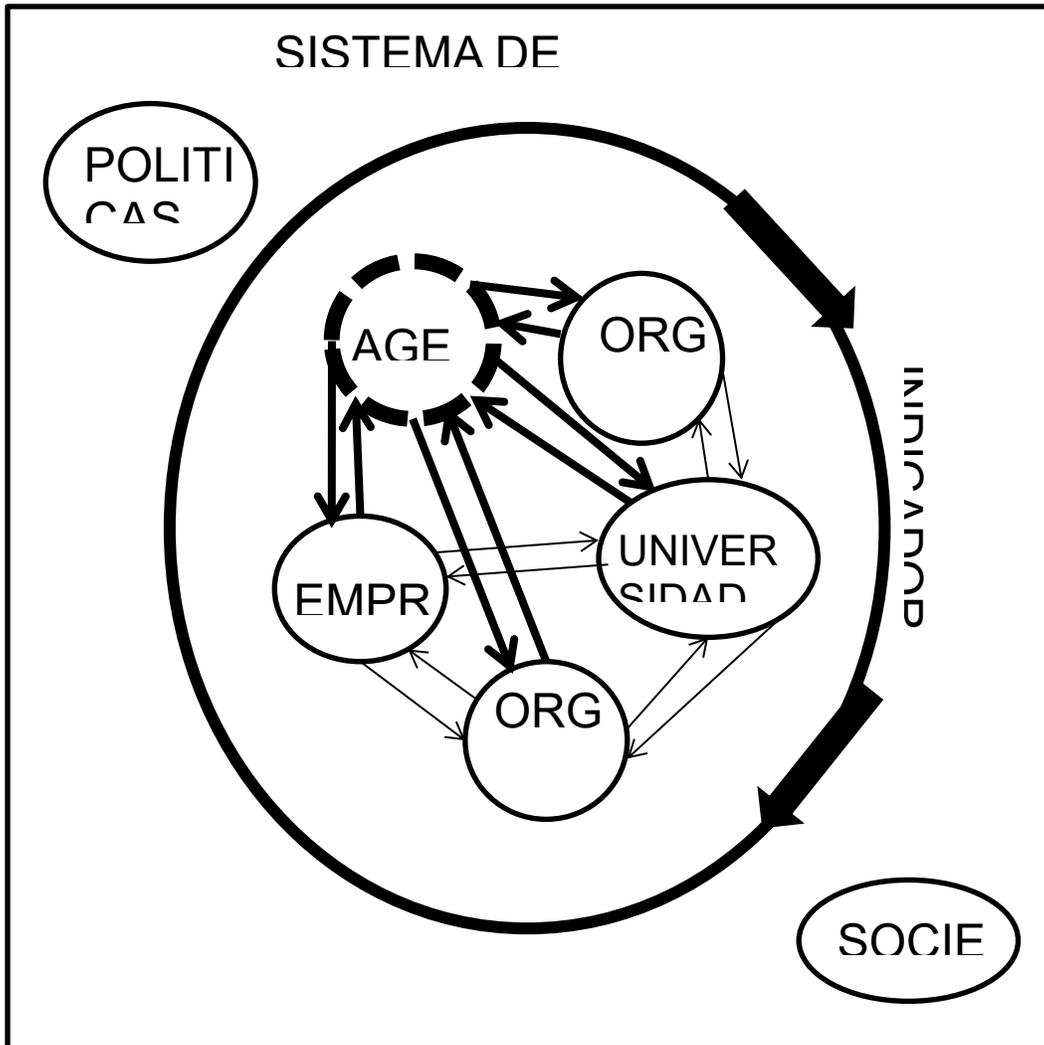
Estas características se complementan con la idea de Miller & Brewer cuando afirman que los indicadores sociales son (1) estadísticas normativas vinculadas con juicios de valor, es decir, el indicador puede ser “bueno” o “malo” según la interpretación; (2) deben estar relacionados más con el resultado de los programas sociales que con la inversión en éstos; (3) deben ser números compuestos en lugar de estar basados en un solo hecho; (4) deben ser comprensivos, es decir, estar relacionados con conceptos amplios en lugar de detalles específicos de esos conceptos amplios; y finalmente (5) deben ser indicativos de algo, enfrentando el criterio de validez. Al revisar ambas reflexiones, nos damos cuenta que estos autores coinciden en que los indicadores sociales no son exclusivos

de un solo hecho, al contrario, deben abarcar y medir más fenómenos, así como ser válidos y claros conceptualmente.

Como podemos ver, la noción misma de indicador de CTI es un concepto complejo. Del mismo modo, las técnicas para obtener los indicadores han seguido una trayectoria histórica de cambio. La OECD ha sido uno de los pioneros de esta estandarización conceptual con la creación de los manuales metodológicos que conforman la Familia Frascati, y los continuos trabajos que desarrolla para incrementar la literatura en el tema. Godin (2002) afirma que los actuales métodos de medición de la CTI son producto de la OECD inspirados por la *National Science Foundation*. La necesidad de comparación internacional es utilizada por la OECD para proponer sus manuales y aminorar los problemas metodológicos inherentes a la medición de la CTI, ofreciendo lineamientos para la recolección de datos y construcción de indicadores internacionalmente aceptados. Sin embargo, no hay que olvidar que existen otros organismos internacionales involucrados en el desarrollo de indicadores y metodologías para la medición de la ciencia, tecnología e innovación, por ejemplo el Banco Mundial, que tienen sus propias metodologías. La historia de los sistemas de indicadores nos muestra la evolución de los conceptos, categorías y metodologías de medición como un caso muy claro de evolución de un objeto epistémico. **Estructura.**

Luhmann afirma que “las estructuras son condiciones que delimitan el ámbito de las relaciones de un sistema...[es decir], indican la selección de las relaciones entre elementos que son admitidas en un sistema” (Corsi *et al.*, 1996: 73) de tal modo que *no existe un sistema sin estructura ni una estructura sin sistema*. A pesar de la existencia de esta vinculación, Luhmann sostiene que son conceptos absolutamente distintos, a saber, los sistemas son operacionales y producidos continuamente, y las estructuras se condensan mediante la repetición de identidad en contextos distintos. Estas estructuras se vuelven significativas cuando es posible generalizar su identidad más allá del momento individual en el que se presentan. Por ejemplo, en los sistemas de indicadores de CTI, la identidad de los elementos permanece aún cuando están presentes en diferentes países. La estructura de estos sistemas, como mencionamos antes, se conforma de (1) una agencia central, (2) empresas, (3) universidades y centros de investigación, (4) organismos gubernamentales, y (5) organismos internacionales (Figura 1)

Figura 1. Estructura del Sistema de Indicadores de CTI.



Fuente: Elaboración propia

Resaltemos el hecho que la interacción de los elementos del sistema de indicadores es dinámica, este dinamismo parte del intercambio de información que es la relación fundamental entre los agentes. Para efectos de este trabajo, recordemos que las interacciones⁸ que nos interesan son las que suceden únicamente entre la agencia y el resto de los elementos (empresa, organismos gubernamentales, organismos internacionales, universidad y centros de investigación), y no la que sucede entre los elementos en sí, no porque no sean importantes, sino simplemente porque no es el objetivo de esta investigación realizar un análisis exhaustivo del sistema sino identificar su estructura y elementos más relevantes. La agencia, la cual definimos como la entidad encargada de la administración de la información estadística para la construcción de indicadores, es la que concentra, organiza, procesa y publica los datos necesarios para los indicadores de CTI. Esta agencia puede ser una empresa, organismo gubernamental y organismo internacional. Los organismos gubernamentales son aquellas agencias nacionales que están involucradas con los indicadores de CTI de alguna manera, y forman parte de la estructura política de un país. Las empresas son unidades productivas o motores de desarrollo económico y social

(Dagnino *et al.*, 2003); figuras jurídicas que de igual manera producen datos para la construcción de indicadores, y más si consideramos que la empresa es la que finalmente aplica la CTI en términos de producir los productos tecnológicos. Finalmente las universidades y centros de investigación, como fuentes de conocimiento y de información (Casas, 2003), son instituciones dedicadas a la CTI y educación, y son también fuente muy importante de información en materia de investigaciones, publicaciones y recursos humanos.

Para el análisis de estas agencias, podemos recurrir a su capital social, capital institucional y marco legal. En relación al capital social entendemos el fortalecimiento de las condiciones en la que puede existir gobernabilidad y cohesión de un país, así como la acumulación de vínculos asociativos que se han construido entre los miembros de una sociedad, en pocas palabras, es la confianza generada en un país (Villaveces & Jaramillo, 2004). Por su parte, Luna (2003) define al capital social como la capacidad y habilidad de asociarse, teniendo como principal sustento la confianza, que sólo surge si existen previamente normas⁹ y valores comunes entre las comunidades. La presencia de este tipo de capital facilita la cooperación, comunicación y diálogo, permitiendo intercambio de información de calidad, facilitando el acceso a la información. Por su parte, Field (2003) afirma que el capital social puede ser resumido en dos palabras: *relationships matters*, es decir los vínculos asociativos de los que habla Villaveces & Jaramillo, donde unas personas con otras van estableciendo conexiones, que mantienen a lo largo del tiempo, y esto les permite trabajar conjuntamente y obtener cosas que solos no podrían. Estas conexiones van construyendo redes, que se constituyen como un recurso y es visto como un capital, de ahí su nombre. Estas redes de personas contienen relaciones y normas que permiten a éstas conseguir sus objetivos, y para reforzar esta idea Field recuerda a Giddens (1984) afirmando que una estructura es permitir y obligar, en virtud de la relación inherente entre estructura y agencia, y agencia y poder. Por su parte, el capital institucional se relaciona con los recursos disponibles a largo plazo para realizar alguna actividad (Westley & Branch, 2000), así como la presencia de leyes, reglamentos, instituciones transparentes y un sistema de vigilancia que verifique que las reglas del juego se están cumpliendo (Villareal, 2002). En contraste, Tirado & Luna (2001) definen al capital institucional como una enorme variedad de asociaciones, que resultan ser una variable determinante para el aseguramiento de acceso a recursos de información y conocimiento. Finalmente, Santos & de Gortari (2003) afirman que la posición institucional de un actor está ligada con su capacidad de negociación.

Todos estos autores coinciden en que ambos conceptos involucran relaciones y un marco normativo que genere confianza y facilite operaciones. Dado lo anterior, el conocimiento de ambos capitales del agente intencional o sujeto social en juego, nos ubica en su importancia relativa con el sistema de indicadores de CTI en un país. En concreto, nos referimos a la posición que ocupa el agente dentro de la estructura política de un país, además de la cantidad de recursos humanos y financieros con los que cuenta para llevar a cabo el proceso de construcción de indicadores. Asimismo el marco legal, como instrumento de regulación, garantiza una formalización del proceso y por lo tanto un lugar claro y bien definido de la agencia responsable. Estas variables la distinguen del resto de los elementos del sistema, ubicándola como componente clave que define la intención del

sistema. Un ejemplo es el caso de la NSF de Estados Unidos, ubicada como la agencia responsable que tiene una posición importante en la estructura política del país. En el caso de México, el CONACYT es el agente responsable del sistema de indicadores de CTI y su capital institucional en esta materia es central para la operación del sistema de CTI.

Proceso o Ciclo del Sistema

Según Beltrán (2001) todo modelo de un sistema pertenece a un grupo de transformaciones, cada una de las cuales corresponde a un modelo de la misma familia, de tal manera que el conjunto de estas transformaciones constituye un grupo de modelos y recuerda a Piaget (1968) y su definición de estructura afirmando que “una estructura es un sistema de transformaciones que comporta leyes en tanto que es sistema, y que se conserva y se enriquece por el juego mismo de las transformaciones, sin que éstas lleguen más allá de las fronteras ni impliquen la participación de los elementos exteriores...[es decir], una estructura comprende caracteres de totalidad, transformaciones y autorregulación” (Beltrán, 2001: 11). Ambas nociones del concepto coinciden con la expuesta anteriormente por Luhmann, en el sentido que el sistema experimenta transformaciones de las relaciones entre los elementos, provocando una reestructuración del todo. Asimismo, este autor afirma que “las estructuras pueden cambiar y con base en ellas el sistema es capaz de aprender” (Corsi *et al.*, 1996: 74).

El concepto de proceso es definido según Luhmann como una “secuencia de acontecimientos temporalmente irreversible... [pero no se trata de] un simple subseguirse de eventos, sino del hecho de que estos eventos están ordenados en secuencia, [de tal manera que] las selecciones ya realizadas y las que se esperan en el futuro fungan como premisa para la selección que se ha de realizar en el momento” (Corsi *et al.*, 1996: 131). Este concepto se liga con el de estructura, cuando Luhmann afirma que los procesos son observables como producción de irreversibilidad sólo sobre el trasfondo de estructuras que perduran. En otras palabras, el orden secuencial que presentan los eventos limita las relaciones que puedan presentarse entre estos, que a su vez suceden en una estructura, es decir, entre elementos que se relacionan.

Siguiendo con esta idea, un proceso en un sistema “es una secuencia de acontecimientos concatenados, y se puede representar como una curva o gráfica que recorre los puntos por los que pasa el sistema a lo largo del tiempo que dura el proceso” (Quintanilla, 2005: 68). En otras palabras, existe una concatenación de acontecimientos, lo que significa que el estado final del primer evento es el estado inicial del segundo y así sucesivamente. Esta concatenación de pasos la podemos equiparar con la noción de evolución del objeto epistémico; como el devenir del sistema hacia la construcción del objeto tecnológico. En términos de la agencia responsable, este proceso se basa en tres eventos: el primero es la recepción de información, el segundo es la evolución del objeto tecnológico (indicadores) mediante técnicas o metodologías, y finalmente la salida del objeto tecnológico (reportes).

Uno de los objetivos de los organismos internacionales como la OECD al crear manuales metodológicos es precisamente estandarizar el proceso que la estructura del sistema, particularmente la agencia responsable, lleva a cabo para la construcción de

indicadores, de tal manera que exista la posibilidad de comparación internacional entre distintos países del mundo. De ahí que se desprendan las actuales discusiones por la necesidad de indicadores regionales o nacionales que den cuenta de procesos específicos de las naciones, que solo suceden bajo ciertas circunstancias socioeconómicas. La metodología, en este marco, se puede analizar a partir de elementos tales como bases de datos utilizadas y disponibles, instrumentos de recolección de datos, y fuentes de información, entre otras. El objeto tecnológico como resultado de este proceso se estabiliza entonces en los reportes de indicadores de CTI, y en los manuales y procedimientos establecidos. Cuando un proceso ha concluido, se cierra un ciclo pero inmediatamente se abre otro. Cada ciclo (proceso) aprende del anterior e inicia con un objeto epistémico y tecnológico que se reproducirán con las diferencias heredadas del ciclo anterior, en una evolución del sistema posiblemente interminable.

El ciclo o proceso del sistema de indicadores de CTI es una secuencia de tres eventos. Se inicia con la recolección de información, continua con la construcción de indicadores y se finaliza con la publicación de reportes. El siguiente ciclo toma en cuenta los indicadores previamente desarrollados, los actualiza, modifica y construye nuevos indicadores y/o conceptos, recolecta nueva información, y publica un nuevo reporte. De esta manera, el sistema aprende con cada ciclo que se abre y se cierra de manera infinita.

Acoplamiento del Sistema de Indicadores con su Entorno Social

Una vez que se han generado los reportes de indicadores, el sistema los expone al entorno, es decir, a la sociedad en su conjunto. De esta manera, el objeto tecnológico se convierte en un mecanismo de acoplamiento entre el sistema sociotécnico y su entorno, que también tendrá una reacción al estímulo que se reintroduce en el sistema sociotécnico para reforzarlo o para modificar su dinámica interna y hacernos entrar en un nuevo ciclo de generación del objeto tecnológico. Estos eventos de la operación de los sistemas de indicadores son los que generan su impacto social, que podemos tratar de entender y medir desde el punto de vista económico (competitividad), científico (productividad) o de desarrollo humano y social. Al respecto, Santos & Díaz (2003) afirman que dado que los sistemas sociotécnicos están formados por elementos heterogéneos en interacción continua, están sujetos a adversarios sociales naturales que pueden provocar la disociación del sistema, por lo que su proceso de conformación es vulnerable e incierto. La relación entre el sistema y entorno es prácticamente inevitable, y una obligación a tomar en cuenta en el análisis de cualquier sistema. Cuando Hughes desarrolla el concepto de impulso tecnológico en 1994, sostiene que “los sistemas sociotécnicos en vías de desarrollo, más jóvenes, tienen que estar más abiertos a las influencias socioculturales, mientras que los sistemas maduros demuestran ser más independientes de las influencias externas. La noción de impulso tecnológico supone que los sistemas sociotécnicos configuran y son configurados por su entorno” (Santos & Díaz, 2003: 362).

Reconociendo que el sistema de indicadores de CTI es un sistema abierto, esto implica una interacción con el entorno. Según Luhmann, “un sistema no puede darse independientemente de su entorno, en cuanto que se constituye precisamente al trazar, mediante sus operaciones, un límite que lo distingue de lo que como ambiente no le

pertenece...[en otras palabras] sistema y entorno surgen solamente juntos” (Corsi *et al.*, 1996: 148-149). Acerca del impacto social del sistema de CTI, ya hemos comentado que puede tenerlo en materia económica, política, social, o científica. Según Martín y López (2000), la necesidad de evaluación y control social del desarrollo de la CTI comienza a percibirse como un derecho ciudadano, en la medida en que diversos sectores sociales son afectados por sus consecuencias. Siguiendo con estos planteamientos conocidos en términos generales como CTS, se aboga por la participación pública en las decisiones sobre el control del desarrollo tecnológico, pero también en la evaluación del mismo. Por su parte, Fernández (2000) señala que el conocimiento debe ser apropiado socialmente para que el impacto exista efectivamente.

Retomando los estudios CTS, en los años 60 surgen movimientos sociales que protestaron por los desarrollos tecnológicos y sus consecuencias peligrosas, y estas consecuencias se convierten en material de los estudios de ciencia, tecnología y sociedad. Según Santos & Díaz (2003), estos estudios se agrupan en dos tradiciones: la europea y la norteamericana. La tradición europea, inclinada a los trabajos de filosofía de la ciencia, de la sociología del conocimiento científico y de la historia de la tecnología, se enfocó en la explicación del proceso de construcción social de la tecnología. La tradición norteamericana se liga más con la relación sociedad-economía-tecnología y ubica su análisis en las consecuencias socioeconómicas de las innovaciones tecnológicas y su influencia en nuestra forma de vida e instituciones. En la tradición europea encontramos enfoques como “la construcción social de la tecnología” y “la teoría de red-actor”, ambos argumentando que estos procesos son conflictivos y cargados de situaciones impredecibles, debido a la diversidad de actores que configuran la dirección e intencionalidad del artefacto tecnológico de que se trate. Estos enfoques de la tradición europea son la base de algunos trabajos sobre el análisis de los sistemas sociotécnicos en la actualidad, y que abordamos anteriormente. Paralelamente estos mismos autores, en un trabajo previo, plantean que la tradición interpretativa, posterior a la tradición instrumental, analiza un artefacto técnico en espacios sociotécnicos donde participan diversos grupos con sus propios intereses y recursos. Esta tradición está formada por las mismas perspectivas que la tradición europea antes mencionada, siendo tradiciones sinónimas (Díaz & Santos, 1997).

La existencia del problema de la intangibilidad y multi-dimensionalidad de las inversiones, beneficios y resultados que se obtienen de la CTI, y por lo tanto su cuantificación en términos económicos y sociales resulta compleja y sólo se cuenta con una perspectiva aproximada. En este sentido es importante contar con indicadores que permitan tener esta aproximación, y dado que no existen valores de referencia, la evaluación en dicha materia hasta ahora se expresa principalmente mediante la comparación internacional (Sancho, 2002). Nos atrevemos a predecir que uno de los temas de investigación que veremos en los próximos años consistirá en la revisión del impacto social mediante la determinación de los espacios sociales de acoplamiento estructural entre los sistemas de indicadores y su entorno, así como el establecimiento de las variables adecuadas de estudio.

Conclusión

Como resultado de la discusión, se concluye que los sistemas de indicadores de CTI pueden analizarse como sistemas sociotécnicos que tienen como sentido la construcción de un objeto tecnológico. El objeto tecnológico se materializa en los reportes que condensan los indicadores construidos y categorizados de tal manera que su administración por los usuarios sea posible. Durante el proceso, permanecen como referencia constante los indicadores mismos, constituyéndose en la referencia que da sentido a la existencia misma del sistema. Estas categorías se forman básicamente de indicadores de inversión, resultado e impacto, y aún cuando están presentes otras, estas tres resultan ser las de mayor uso y desarrollo.

En este proceso se constituye también el objeto epistémico, es decir, el marco conceptual y metodología basada en elementos como bases de datos, instrumentos de recolección de datos y fuentes de información. En general, el cuerpo de conocimiento que permite la construcción de indicadores, además del marco conceptual sin el cual la interpretación de los datos no sería posible, cabe señalar que para la comparación internacional, es necesaria la presencia y uso de metodologías estandarizadas de tal manera que todo el proceso que lleva a cabo la agencia responsable de cada país cumpla con los mismo criterios, y así poder obtener los resultados comparables. Uno de los principales problemas que enfrenta este sistema es precisamente la constitución de una estructura epistémica estable para la construcción de los indicadores, tema que es fuente de debate entre investigadores.

También se encontró que la estructura está conformada por un conjunto de agentes sociales donde el elemento fundamental es la agencia responsable que concentra los flujos de información. Otros agentes sociales que conforman la estructura son las universidades, centros de investigación, empresas, organismos gubernamentales y organismos internacionales que tienen como función principal la generación e intercambio de información. La estructura se basa entonces en cinco subsistemas interrelacionados mediante flujos de información constante, que periódicamente se actualiza y mantiene el sistema bajo evolución y aprendizaje constantes. Los flujos más importantes son los intercambiados entre todos los elementos y la agencia responsable de la construcción de indicadores. Para analizar a la agencia responsable se analizan variables como la posición jerárquica que ocupa en la estructura política de un país u organismo mediante el concepto de capital institucional, medido por la cantidad de recursos humanos y económicos disponibles, así como por el marco legal que sustenta a esta agencia, y que finalmente da legalidad al proceso de construcción de indicadores.

La dinámica del sistema corresponde con un proceso caracterizado por el flujo de información entre los agentes participantes y por la revisión y construcción de metodologías. Cada ciclo de construcción de los indicadores puede conducir a una nueva estructura donde los procedimientos y hasta los indicadores son modificados siguiendo las condiciones impuestas por los agentes. Como todo sistema abierto, mantiene un modelo entrada-proceso-salida. En la primera fase del proceso (entrada), la agencia responsable recibe la información proveniente de los otros elementos del sistema. Esta información, como ya mencionamos, corresponde a datos producidos o recolectados, así como proyectos

o iniciativas que necesiten de evaluación. Luego, la información es procesada y los indicadores son propiamente construidos.

Finalmente, se puede concluir que el sistema tiene una relación estructural con el entorno social de tal modo que los resultados se vuelven entradas de otros sistemas sociales que pueden utilizarlos para sus propios fines, particularmente para la revisión y conformación de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación. El impacto social puede ser medido desde varios puntos de vista como el económico que se materializa en competitividad, el científico que se materializa en productividad, o el social que se materializa en el desarrollo humano y social. El impacto social se manifiesta principalmente por las políticas públicas de CTI, pero se empieza a ver un interés creciente de los distintos agentes sociales que se ven afectados por los resultados de estos indicadores.

Referencias

- Albornoz, M., Estébanez, M., & Alfaraz, C. (2005). Alcances y limitaciones de la noción del impacto social de la ciencia y tecnología. *Revista CTS*, 4(2), 73-95.
- Beltrán, M. (2001). Sobre la noción de estructura social. *Revista Internacional de Sociología*, 30, 7-28.
- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de Sistemas: fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. México: FCE.
- Brujin, H., & Herder, P. (2009). System and Actor Perspectives on Sociotechnical Systems. *IEEE Transactions of Systems, Man and Cybernetics*, 39(5), 981-992.
- Bunge, M. (2002). *Epistemología*. México: Siglo XXI Editores.
- Bunge, M. (2004). How does it work? The search of explanatory mechanisms. *Philosophy of the Social Sciences*, 34(2), 182-210.
- Casas, R. (2003). Enfoque para el análisis de redes y flujos de conocimiento. En M. Luna, *Itinerarios del conocimiento: formas, dinámicas y contenido: Un enfoque de redes* (19-50). España: Anthropos-IIS.
- Cimoli, M. (2000). Institutions and the National Innovation Systems: an introduction. En M. Cimoli, *Developing Innovation Systems: Mexico in a Global Context* (103-107). London-New York: Continuum.
- Corsi, G., Esposito, E., & Baraldi, C. (1996). *Glosario sobre la teoría social de Niklas Luhmann*. México: Universidad Iberoamericana-ITESO-Anthropos.
- Dagnino, R., Thomas, H., & Gomes, E. (2003). Los fenómenos de transferencia y transducción de conceptos como elementos para una renovación explicativa-normativa de las políticas de innovación en América Latina. En OEI, *Innovación tecnológica, universidad y empresa* (53-77). Madrid, España: OEI.

- Díaz, R., & Santos, M. J. (1997). Artefactos sociotécnicos, cultura y poder: Hacia una antropología de la innovación tecnológica. En M. J. Santos, & R. Díaz, *Innovación tecnológica y procesos culturales: Nuevas perspectivas teóricas* (48-60). México: UNAM-FCE.
- Fernández, E. (2000). *Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, Ciencia y la Cultura*. Recuperado el Agosto de 2009, de Cátedra CTS+I México: <http://www.oei.es/catedramexico2.htm>
- Field, J. (2003). *Social Capital*. NY, USA: Routledge.
- Gallino, L. (2005). *Diccionario de Sociología*. México: Siglo XXI Editores.
- Geels, F., & Kemp, R. (2007). Dynamics in socio-technical systems: Typology of change processes and contrasting case studies. *Technology in Society*, 9(4), 441-455.
- Geisler, E. (2000). *The metrics of science and technology*. USA: Quorum Books.
- Godin, B. (2002). Outline for a history of science measurement. *Science, Technology and Human Values*, 27(1), 3-27.
- Griffith, T., & Dougherty, D. (2001). Beyond socio-technical systems: introduction to the special issue. *Journal of Engineering and Technology Management*, 18(3-4), 207-218.
- Hacking, I. (2006). Making up people. *London Review of Books*, 28(16).
- Horn, R. (1993). *Statistical Indicators for the Economic and Social Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hughes, T. (1987). The evolution of large technological systems. En W. Bijker, T. Hughes, & T. Pinch, *The social construction of technological systems* (51-82). London, England: The MIT Press.
- Kaghan, W., & Bowker, G. (2001). Out of machine?: complexity, sociotechnical systems and actor network perspectives. *Journal of Engineering and Technology Management*, 18(3-4), 253-269.
- Kaufmann, A., & Tödtling, F. (2001). Science-Industry interaction in the process of innovation: the importance of boundary-crossing between systems. *Research Policy*, 30(5), 791-804.
- Latour, B. (2001). *La esperanza de Pandora*. España: Editorial Gedisa.
- Luna, M. (2003). La red como mecanismo de coordinación y las redes de conocimiento. En M. Luna, *Itinerarios del conocimiento: formas, dinámicas y contenido: Un enfoque de redes* (51-78). España: Anthropos-IIS.
- Martín, M., & López, J. A. (2000). Acercando la ciencia a la sociedad: la perspectiva CTS y su implantación educativa. En M. Medina, & K. (coord.), *Ciencia, tecnología/naturaleza, cultura en el siglo XXI* (45-75). España: Anthropos-UAM.

- Mayo, E. (1975). *The social problems of an industrial civilization*. New York: Arno Press.
- Meagher, M. E. (2003). Orientaciones normativas: percepciones del sector académico y el empresarial acerca de sus relaciones en una red. En M. Luna, *Itinerarios del conocimiento: formas, dinámicas y contenido: Un enfoque de redes* (259-307). España: Anthropos-IIS.
- Miller, R., & Brewer, J. (2003). *The A-Z of Social Research*. London: SAGE Publications.
- Mondragón, A. (2002). ¿Qué son los indicadores? *Revista de información y análisis INEGI*.
- OECD. (2002). *Manual de Frascati: Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*. Paris/España: OECD-FECYT.
- Pickel, A. (2007). Rethinking systems theory: A programmatic introduction. *Philosophy of the Social Science*, 37(4), 391-407.
- Quintanilla, M. A. (2005). *Tecnología: Un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. México: FCE.
- Reijo, M., & Jaakko, V. (2005). Epistemic Objects, Artefacts and Organizational Change. *Organization*, 12(3), 437-457.
- Rheinberger, H. (1992). Experiment, difference and writing: Tracing protein synthesis. *Studies in the history and philosophy of science* (23), 305-331.
- Robledo, J. (2003). Indicadores para el Sistema Regional de Antioquía, Colombia. En OEI, *Innovación Tecnológica, Universidad y Empresa* (145-162). España: OEI.
- Rubio, J. (2005). *La Organización Social de la Ciencia en México*. En L. Corona, & X. Paunero, *Ciencia, Tecnología e Innovación: Algunas Experiencias en América Latina y el Caribe* (115-131). Universidad de Girona.
- Rubio, J. (2004). A systemic typology of scientific phenomena. En T. Tymieniecka, *Analecta Husserliana LXXXIII* (673-700). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Rubio, J. (1999). *La construcción del conocimiento científico: el caso del concepto de información genética*. Tesis doctoral. España: Universidad de Valencia.
- Sancho, R. (2002). Indicadores de los Sistemas de Ciencia, Tecnología e Innovación. *Economía Industrial*, 97-109.
- Santos, M. J., & de Gortari, R. (2003). De contactos a redes: la construcción de redes de conocimiento a través de la formación de recursos. En M. Luna, *Itinerarios del conocimiento: formas, dinámicas y contenido: Un enfoque de redes* (107-144). España: IIS-Anthropos.

- Santos, M. J., & Díaz, R. (2003). El análisis del poder en la relación entre tecnología y cultura: una perspectiva antropológica. En M. J. Santos, *Perspectivas y desafíos de la educación, la ciencia y la tecnología* (335-401). México: Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM.
- Smith, A., Stirling, A., & Berkhout, F. (2005). The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy*, 34(10), 1491-1510.
- Tirado, R., & Luna, M. (2001). Las asociaciones empresariales y la construcción de redes de conocimiento. En R. Casas, *La formación de redes de conocimiento: Una perspectiva regional desde México* (119-162). España: Anthropos-IIS.
- Truffer, I. (2002). ¿Qué son los indicadores de CyT? Evaluación de las actividades científico-tecnológicas a través de indicadores. Argentina: Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER).
- UNESCO-WAPP. (2003). Informe mundial para la revalorización de los recursos del agua. Recuperado el 2008, de <http://watermonitoringalliance.net/index.php?id=782&l=2>
- Vallerino-Bracho, C. (2004). Despliegue epistémico y textura de lo social en la sociedad estructuradamente moderna. *Frónesis*, 11(1), 20-40.
- Villareal, R. (2002). América Latina Frente al Reto de la Competitividad: Crecimiento con innovación. *Revista Iberoamericana de CTS+I OEI*, (4).
- Villaveces, J. L., & Jaramillo, H. (2004). *Indicadores Globales y Relacionales: Para medir la capacidad de producir, adaptar y utilizar el conocimiento en la sociedad*. Bogotá, Colombia-Buenos Aires, Argentina: Observatorio Colombiano de CyT-Universidad del Rosario.
- Westley, G., & Branch, B. (2000). *Dinero seguro: Desarrollo de cooperativas de ahorro y crédito eficaces en América Latina*. Inter-American Development Bank

Notas

¹ Director de la Escuela de Ciencias Sociales y Humanidades del Tecnológico de Monterrey, Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 222 Calle del Puente, Col. Ejidos de Huipulco, Tlalpan, 14300, México, D.F., MÉXICO. E-mail: jerb@itesm.mx

² Profesora de Asignatura en el Departamento de Mercadotecnia y el Departamento de Finanzas y Contabilidad, Escuela de Negocios del Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México, Carretera Lago de Guadalupe Km 3.5, Atizapán de Zaragoza, 52926, Estado de México, MÉXICO. Profesor de asignatura en el Departamento de Comunicación y Humanidades, Escuela de Ciencias Sociales y Humanidades del Tecnológico de Monterrey, Campus Santa Fe, Av. Carlos Lazo No. 100, Col. Santa Fe, Delegación Álvaro Obregón, México D.F., C.P. 01389, MÉXICO, E-mail: eldamorales@itesm.mx, eldacmorales@yahoo.com

³ Profesor de tiempo completo en la Escuela de Negocios, Ciencias Sociales y Humanidades del Tecnológico de Monterrey, Campus Puebla, Vía Atlixcáyotl No. 2301, Reserva Territorial Atlixcáyotl, Puebla, Puebla, México, C.P. 72453, MÉXICO. E-mail: stantumbua@itesm.mx, stantumbua@gmail.com

⁴ Hughes (1987) define las organizaciones como empresas manufactureras, compañías o bancos; a los componentes científicos como libros, artículos, enseñanza universitaria y programas de investigación; y a los artefactos legislativos como leyes regulatorias.

⁵ Definida por Bertalanffy (1976) como una medida del desorden, una tendencia de los sistemas a desgastarse, la cual aumenta con el tiempo.

⁶ Se entiende por cuerpo pasivo a los humanos y no humanos que conforman la organización, y por activos a los profesionales ubicados en los altos mandos de la organización.

⁷ Brujin & Herder (2009) definen esta habilidad de aprender de los actores como reflectiva, y tiene tres implicaciones: (1) los actores muestran un comportamiento estratégico en relación a sus propios intereses y a conseguir sus objetivos; (2) los actores aprenden cómo neutralizar la intervención de otros, renovando constantemente sus estrategias en función de la maximización de sus intereses; (3) dado que los actores son reflectivos, la comprensión del proceso de interacción es fundamental para la toma de decisiones. Esta última implicación, los autores la consideran una diferencia con el enfoque de sistema en el que los procesos internos del sistema no siempre tienen que ser entendidos para entender al sistema en general.

⁸ Como interacciones o comunicación entre los elementos, identificados como flujos de información, resulta importante aclarar que nos referimos a flujos de información y no a flujos de conocimiento. La diferencia se presenta dado que en los flujos de información existe un intercambio de datos, y los flujos de conocimiento se basan en conocimientos científicos, técnico, principios, leyes y habilidades técnicas para hacer algo (Casas, 2003: 28).

⁹ Como norma entendemos “los compromisos entre los seres humanos, es decir, se refiere a relaciones obligadas, permitidas y prohibidas entre seres humanos. (Meagher, 2003: 262)