



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA
FACULTAD DE ECONOMÍA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL DESARROLLO
ECONÓMICO Y SOCIAL**

**DESARROLLO ECONÓMICO Y USO DE TECNOLOGÍAS DE
INFORMACIÓN PARA PROBLEMAS AMBIENTALES EN
ESPACIOS URBANOS: UN ENFOQUE MIXTO ENTRE
MODELOS BASADOS EN AGENTES E INTERNET DE LAS
COSAS**

T E S I S

PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN DESARROLLO ECONÓMICO Y COOPERACIÓN
INTERNACIONAL

P R E S E N T A

DANIEL URENCIO ÁLVAREZ

COMITÉ DE TESIS
DR. HÉCTOR SOTOMAYOR CASTILLA (ASESOR)
DR. CARLOS ABSALÓN COPETE
DRA. BEATRIZ MARTÍNEZ CARREÑO

PUEBLA, PUE.

ENERO 2017

Agradecimientos

La culminación de este trabajo se logró con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Gracias a esta institución, que está comprometida con fomentar el quehacer científico y con promover la innovación desde la academia, le es posible a los estudiantes de posgrado atreverse a proponer ideas y soluciones para las problemáticas que enfrenta la sociedad actualmente. Esta tesis se inscribe en dicho caso, y es por ello que se hace explícito el agradecimiento al CONACYT en este apartado.

Resumen

El uso de tecnologías de información para problemas ambientales en espacios urbanos se propone como una práctica metodológica desde el quehacer de las ciencias sociales. Para ello, es necesaria la participación de varios enfoques y disciplinas debido a que en la tradición de algunas ciencias sociales se ha presentado cierto hermetismo y renuencia a la innovación y a la modificación de prácticas establecidas. De acuerdo a este trabajo, se considera que lo anterior es particularmente cierto tanto para la economía ortodoxa como para la influencia que ha tenido el post-modernismo en las ciencias sociales en general.

Al mismo tiempo, resulta cada vez más necesario, adaptarse a las problemáticas ambientales contemporáneas como son la generación de gases de efecto invernadero y el calentamiento global. Por ello, se propone que al hablar de desarrollo económico se haga explícita la necesidad de modificar patrones de producción, consumo y de investigación para promover la sustentabilidad en dichos ámbitos.

Dado lo anterior, la propuesta metodológica de esta tesis consiste en un enfoque mixto entre modelos computacionales basados en agentes y el uso del internet de las cosas. La motivación de este enfoque es el de estudiar con mayor nivel de detalle el impacto que tienen la mayoría de los asentamientos humanos contemporáneos sobre el medio ambiente.

Índice de contenidos

Introducción	1
I. Sobre el concepto de “desarrollo”: Los orígenes de la economía ortodoxa, sus reacciones y sus críticas	8
I.1 De Truman a Zoellick - Cómo llegamos a una noción particular del desarrollo y cómo el discurso cambió.....	9
I.2 La propagación del desarrollo a través de las instituciones y de la cooperación internacional: Historias de prueba y error de la ayuda oficial.....	13
I.3 ¿Desarrollo e innovación financiera? Distorsiones entre el sector financiero y el sector real de la economía.....	17
I.4 Matemáticas, modelos económicos y la interpretación de la realidad.....	23
I.5 Ley de los rendimientos decrecientes, utilitarismo, estática y crecimiento económico.....	29
I.6 Anti-ciencia, anti-mercado y posmodernismo: ¿verdad o reto?.....	33
I.7 Obscurantismo e imposturas intelectuales: ¿influencias artísticas en las ideas económicas?.....	40
I.8 La ciencia y tecnología como una práctica, no una doctrina.....	45
II. Tecnología y sustentabilidad en los sistemas económicos: La incidencia de los objetos, la información, la energía y la cultura	49
II.1 ¿Qué es tecnología?.....	49
II.2 ¿Qué es lo natural?.....	51
II.3 Diferencias hipotéticas entre lo natural y lo cultural: el fuego y los artefactos como las primeras tecnologías.....	56
II.4 La ilusión de un progreso en la industria agropecuaria: Una trampa tecnológica.....	64

II.5 La sedentarización, primeras ciudades, deterioro ambiental y las tecnologías de la información.....	66
II.6 Evolución por selección cultural.....	72
III. Las ciudades como sistemas adaptativos complejos.....	79
III.1 La relación entre la economía y las ciudades: la necesidad de una nueva óptica.....	79
III.2 Sobre las acepciones y los usos del término “complejidad”.....	81
III.3 Algunos retos y oportunidades en la investigación multidisciplinaria.....	88
III.4 Ejemplos de cooperación multidisciplinaria: el caso de los modelos basados en agentes para el estudio de fenómenos complejos y su contraste con los modelos económicos ortodoxos.....	97
III.4.1 Arqueología, etnografía y simulación: El caso de la cultura anasazi.....	105
III.4.2 Modelo de segregación étnica en espacios urbanos´.....	110
III.4.3 Simulación y evolución cultural.....	112
III.4.4 Modelos basados en agentes, sistemas de información geográfica y problemáticas urbanas.....	117
IV. Reajuste entre modelación y realidad: modelos basados en agentes e internet de las cosas.....	122
IV.1 ¿Por qué modelar?.....	124
IV.2 Modelos implícitos y modelos explícitos: introduciendo el concepto de ontología..	126
IV.3 Siete categorías para hablar de sociedades humanas.....	128
IV.3.1 Lenguaje.....	129
IV.3.2 Sujetos.....	129
IV.3.3 Objetos.....	130
IV.3.4 Tiempo.....	131
IV.3.5 Espacio.....	131

IV.3.6 Interacción.....	132
IV.3.7 La diversidad.....	133
IV.4 Articulación de categorías.....	134
IV.5 Aspectos computacionales de la ontología.....	137
IV.6 Simulación basada en el concepto de metabolismo urbano.....	139
IV.7 Construcción de un modelo para ciudades en México para simular consumo eléctrico.....	140
IV.8 ¿Qué es el internet de las cosas y cómo se adecua esta tecnología a los modelos basados en agentes?.....	146
IV.9 ¿Es factible el uso del internet de las cosas?.....	148
IV.10 Componentes de una arquitectura basada en el internet de las cosas.....	149
IV.10.1 Sensor integrado.....	149
IV.10.2 Mini-computador.....	151
IV.10.3 Servicios en la nube.....	152
IV.11 Síntesis de beneficios potenciales del enfoque mixto.....	155
Reflexiones finales.....	157

Índice de gráficas

Gráfica I.1. Venta de residencias en EEUU (unidades en millares por año).....	20
Gráfica I.2. Tasa de desempleo en EEUU (unidades porcentuales por año).....	21
Gráfica I.3. Interconexión entre las deudas de los países durante la crisis de crédito europea en 2010.....	22
Gráfica III.1 Cuarteto de Anscombe.....	104
Gráfica III.2 Cantidad de hogares históricos y cantidad de hogares simulados (mejor ajuste).....	107
Gráfica III.3 Patrones de establecimientos simulados e históricos (en rojo), valle <i>Long House</i> 1125 A.C.....	108
Gráfica III.4 Resultado de 100 simulaciones con agentes.....	109
Gráfico III.5 Simulaciones de segregación étnica de acuerdo al modelo de Schelling.....	111
Gráfica III.6 Simulaciones de segregación étnica de acuerdo al modelo de Schelling.....	111
Gráfica III.7 Segregación étnica en Nueva York de acuerdo a información censal de 2010.....	112
Gráfica III.8 Red neuronal y campo visual de los agentes ara reconocer entre hongos benignos o venenosos (punto gris o negro).....	116
Gráfica III.9 Simulación sin transmisión intra-generacional (línea negra) y simulación con ambas transmisiones (línea gris) con cambio drástico a partir de la generación número 100.....	116
Gráfica IV.1. Distribución de irradiación promedio diaria para la región de Cholula durante 20 años (1984 - 2004) para los meses de junio y diciembre.....	145

Introducción

Hablar de degradación ambiental y de los impactos negativos que tiene la actividad económica en el entorno suele caer dentro de una de dos categorías. La primera tiende a acompañarse de incredulidad, de una actitud propensa al escepticismo y a recibir cualquier argumento como si se tratara de un sermón moral e innecesario. Al oír sobre el tema se reciben reacciones como si se estuviera escuchando un *cliché*; ésta es la actitud renuente a concordar con una historia que se entiende como un mero lugar común, como cuando se apela por no tirar basura en las calles para “proteger al planeta” o como cuando se promueve el entusiasmo por viajar en bicicleta, aunque no exista un lugar a donde ir. A esta categoría se le puede llamar “la apatía rotunda con respecto al espacio compartido”.

En la segunda categoría se suele encontrar una postura completamente contraria. En ésta, la actitud es vehemente y contestataria; la “madre tierra” o “pacha mama” es lo más importante y por ello es imperante hacer lo que sea para salvar al planeta aunque el curso a tomar se trate de exigir con gritos, renegar del sistema o salir a las calles a transmitir enojo. En ocasiones, esta actitud celebra al planeta con una conducta que raya en lo religioso y, por ello, se suele entender que para “salvarlo” tiene que respetarse a éste, así como a la naturaleza y a cualquier otra concepción que se le asemeje. A esta postura se le puede llamar “ambientalismo contestatario”. Los adeptos a esta conducta suelen renegar y arremeter contra toda persona que no coincida con sus creencias y costumbres; y al hacerlo, la contraparte se siente aturdida, responde con más apatía, y a veces con sátira. Así se pronuncian y mantienen ambas categorías.

Mientras tanto, independientemente de la afiliación, ambas facciones encienden la luces de su casa al terminar el día, si es que se cuenta con una; prenden su estufa eléctrica; depositan residuos orgánicos mezclados con otros inorgánicos, y tiran de la cadena del inodoro para deshacerse de algún objeto sin utilidad. Al mismo tiempo, unos cuantos millones de personas más se encuentran haciendo algo parecido y al día siguiente se volverán a sumar a la corriente ideológica que se postule como la más convincente, consintiendo con ella en las redes sociales, en conversaciones con conocidos o en sus propios pensamientos. Sin

embargo, los niveles de consumo y producción de recursos se mantienen o aumentan día con día. ¿Es entonces el medio ambiente algo real o se trata de algo que existe sólo para ofrecerle respeto?

Trátese de los apáticos por el espacio compartido o de los ambientalistas contestatarios, dado que al hablar de problemas ambientales es fácil caer tanto en una como otra, la razón de tales conductas puede ser la consecuencia de un mismo problema. El discurso de la degradación ambiental es algo o que resulta de primera vista sumamente obvio y señalable o, contrariamente, se percibe como algo poco intuitivo y lejano. El problema, tal vez, se reduce a que para algunas personas el acceso a bienes y servicios suele permanecer inalterado, y si existe alguna preocupación genuina al respecto usualmente se reacciona de modo ideológico y no con una conducta alternativa. Esta problemática es común en espacios urbanos.

El problema, por lo tanto, es de índole económica. Contemporáneamente, el estilo de vida en las ciudades permite un consumo de agua, energía y nutrientes casi ininterrumpido; y aunque una persona en una ciudad sostenga una ideología amigable con la “madre naturaleza”, los hábitos de consumo y producción de bienes y servicios difícilmente cambiarán a menos que haya una mutación en la cultura de las sociedades humanas, y particularmente de aquellas que habitan en espacios urbanos. Por esta razón en el título de esta tesis está el concepto de desarrollo económico, pero éste no se aborda como la simple expansión de oportunidades económicas o como el mero aumento en la producción de bienes y servicios. Desarrollo económico, en este trabajo, se entiende como la transición económica hacia una cultura de producción y consumo sustentable, que a su vez permita y promueva la adaptación y mitigación al cambio climático generado por la presión que ejercen las sociedades humanas en el medio ambiente.

Es por ello que se comenzó esta introducción haciendo mención de dos posturas que; más que sólo tratarse de apáticos o incrédulos contra contestatarios, ambientalistas cuasi-religiosos, representan también tradiciones institucionales que coexisten como rivales ideológicos sin promover innovaciones en el sistema económico vigente hacia uno que resulte más sustentable. Este contexto puede interpretarse como una contradicción tal y

como se daría en un silogismo, pero esta contradicción es más compleja que la que puede apreciarse en dos proposiciones opuestas puesto que se trata de tradiciones ideológicas que contribuyen con el estado actual de conductas e interacciones con el espacio, con los recursos y con la misma sociedad.

Para ampliar la analogía de los incrédulos y contestatarios, los primeros representan la ortodoxia económica que aún existe en la actualidad. Ésta no sólo se refiere a las instituciones que a veces dan prioridad al sector financiero de la economía por encima de lo que usualmente se denomina como el sector real o de bienes y servicios, también se refiere a las teorías y tradiciones académicas que sostienen la validez de cierto tipo de políticas públicas y de cierta concepción de la economía en general como un fenómeno social. En esta tradición se pueden enlistar a los gobiernos, a algunas organizaciones internacionales y a cierto sector dentro de la academia.

A *grosso modo*, esta primera facción ha basado la certidumbre de sus metodologías en la misma lógica que hizo de la física una ciencia exacta durante su desarrollo en siglos anteriores; en general, se trata del rigor que el cálculo infinitesimal ha aportado para la comprensión de fenómenos naturales como las leyes mecánicas que permiten el movimiento, aceleración o estática de objetos inertes. Desde las matemáticas puras, la sintaxis y semántica que apoyan estos métodos se conocen por el nombre de análisis de variable real; en esta área de las matemáticas se explica el comportamiento de una cosa como una función de alguna otra, como cuando se arroja un objeto por el espacio cuya distancia recorrida sería una función de la fuerza aplicada. En este sentido, los economistas han intentado emular a los físicos al ofrecer explicaciones para fenómenos sociales de modo muy parecido a como los físicos explican fenómenos mecánicos.

La segunda facción de la analogía, la que corresponde a los contestatarios, pudo haber surgido como una reacción en desaprobación a cómo la política económica ortodoxa se posicionó. Por ello, en vez de ofrecer métodos y formas alternativas para estudiar a los fenómenos económicos, esta postura sólo ofrece una narrativa sobre la debacle que, según su percepción, rodea al mundo; esta narrativa niega y adolece el *status quo* y culpa a la ciencia en general por las atrocidades del mundo moderno. Por ello, se exhibe cierta

nostalgia y respeto por sociedades pre-modernas, de las cuales se asume un estilo de vida siempre respetuoso con la naturaleza que inclusive se entiende como el “deber ser” de las sociedades humanas.

Dado que en esta postura no hay metodologías establecidas y replicables, el quehacer de lo anti-moderno se basa en la reflexión a través de la escritura, la filosofía y las artes; se trata de una corriente cultural que logró popularizarse durante la década de los años sesenta y setenta, y que hasta la fecha persiste llegando a contagiar su ánimo en las facultades de ciencias sociales y economía no sólo en México, sino también internacionalmente. A esta corriente, en términos muy generales, se le conoce como lo post-moderno; su fundamento trata justamente de distanciarse de la modernidad, de lo establecido y de lo ortodoxo. No hay necesariamente una propuesta práctica pero sí la negación de aquellas ya existentes.

La contradicción de la que se hablaba anteriormente se da, por lo tanto, como una disparidad en las maneras de entender y emprender metodologías para estudiar a la economía; pero principalmente, la contradicción yace en que la realidad contemporánea exige una nueva cultura para resarcir y aminorar el impacto que tienen los asentamientos humanos en el medio ambiente y el contexto de la confrontación ideológica tradicional es incapaz de promover un marco metodológico que procure un desarrollo económico sustentable. El contexto, por ende, tiene que mutar para adaptarse a algo distinto.

Si se pone en términos de un silogismo, la tesis de éste es el contexto basado en la disparidad ideológica ya discutida; y la antítesis es el desajuste que existe entre las propuestas teóricas y metodológicas de ambas facciones con la realidad así como su incapacidad por ofrecer una ruta hacia un desarrollo sustentable. Como todo silogismo, ante la contraposición de dos situaciones tendría que surgir un nuevo escenario con el cual se resolviera dicha contradicción; por ello, en este trabajo se sostiene que la síntesis del contexto descrito es una situación que ya está en curso y que las condiciones que hacen posible el surgimiento de nuevas propuestas y nuevas visiones son una realidad. Por ello, este trabajo tiene como objetivo general sumarse a este acontecimiento, y por ello se enfatiza la importancia que tiene la tecnología para observar la concepción de desarrollo económico que en esta tesis se maneja.

El uso de tecnologías de información para problemas ambientales en espacios urbanos no es algo que haya sido frecuente en ninguna de las dos facciones de las que ya se habló; y aunque esta tendencia no es algo que por primera vez se propone, este trabajo busca aportar un enfoque metodológico poco usual en la discusión del desarrollo económico y de la sustentabilidad desde las ciencias sociales. La propuesta se base en la mezcla de dos tipos de tecnologías ya existentes, pero que suelen usarse por separado; se trata de un enfoque mixto entre modelos computacionales para simular la interacción entre agentes y el uso de sensores con arquitecturas informáticas para recabar información ambiental en tiempo real, esto último es a lo que actualmente se le llama internet de las cosas.

¿Por qué hacer una propuesta de este tipo? Existen tres razones. La primera se debe a que llevar a cabo este enfoque resulta sumamente factible dado que se han dado cambios en la cultura de derechos de propiedad que permite desarrollar tanto *software* como *hardware* adecuado a aplicaciones como las que se proponen en esta tesis. La segunda razón se basa en que este enfoque mixto permite llevar a cabo estudios a la medida de un territorio y sociedad en particular sin tener que verse forzados a adoptar supuestos simplificadores o actitudes teóricas que generalizan el comportamiento de las personas, tal y como ha sucedido en las teorías económicas más ortodoxas. La tercera y última razón, se inspira en que a través de la mezcla de estos enfoques se pueda motivar la cooperación entre varias disciplinas; con este se pretende sugerir que la interacción entre diversos enfoques es algo benigno que promueve innovaciones metodológicas y soluciones prácticas.

Este enfoque mixto entre modelos basados en agentes y el internet de las cosas como una propuesta metodológica para el estudio de asentamientos humanos hacia un desarrollo económico sustentable es la principal aportación de esta tesis. Para llegar a ésta se revisan ciertas ideas, conceptos y acontecimientos históricos que fungen como la aclaración y justificación de por qué es importante adoptar este enfoque; esta revisión se articula como la estructura en la que se presentan los diferentes capítulos de esta tesis.

El primer capítulo revisa algunos acontecimientos históricos recientes que han detonado la incredulidad y el cuestionamiento que actualmente rodea a la ortodoxia económica así como la noción de desarrollo económico que de ésta ha surgido. Para ello se ahonda en el

rol de las políticas públicas puestas en marcha por organismos internacionales que precisamente buscaban terminar con el “subdesarrollo” en el mundo, esta actitud ha sido particularmente notable en el ejercicio de la ayuda oficial para el desarrollo. Del mismo modo, se presta atención a cómo se ha dado una actitud similar en el ámbito financiero y cómo esto ha tenido consecuencias sumamente perjudiciales, para ello se revisa el caso de la crisis inmobiliaria de 2008. Una vez que se discute la noción ortodoxa de desarrollo se ahonda en los fundamentos científicos y epistemológicos que motivaron dicha noción para después enfocarse en las reacciones contestatarias que se dieron ante la ortodoxia; estas reacciones son las mismas que terminaron convirtiéndose en lo que ahora se llama post-modernismo.

El segundo capítulo profundiza en los detalles que caracterizan la corriente ideológica post-moderna. Para ello, se contrasta con cierta evidencia histórica el entendimiento que tiene dicha facción con respecto a las sociedades humanas pre-modernas como culturas amigables con el medio ambiente. Esta evidencia insinúa que los asentamientos humanos siempre han tenido una presión importante en el ambiente y en otros ecosistemas, y que la raíz de los problemas ambientales que la sociedad enfrenta actualmente puede ser entendida como el curso que la especie *homo sapiens* ha recorrido a través de un proceso de selección natural. Esto se contrapone con la costumbre basada en explicar a la degradación ambiental como un fenómeno cultural, exclusivamente occidental, el cual se apoyó tanto de la práctica científica como de los avances tecnológicos en general.

En el tercer capítulo se cuestiona de manera más detallada las propuestas metodológicas tanto de la ortodoxia económica como de las posturas post-modernas. En cuanto a la primera se hace referencia a los detalles técnicos que son incompatibles con las maneras en las que se manifiestan algunos fenómenos sociales. Y en cuanto a la segunda se discute que, por la ausencia de enfoques metodológicos y por la renuencia a auxiliarse de otras disciplinas, las ciencias sociales pueden correr el riesgo de convertirse en un quehacer meramente narrativo con nula capacidad práctica. Por ello, en este capítulo se introduce a los modelos computacionales basados en agentes como una opción para estudiar fenómenos sociales y se muestran algunos ejemplos de cómo estos han fomentado estudios multidisciplinarios.

En el cuarto y último capítulo se ofrece una propuesta conceptual para la confección de modelos de simulación con agentes y cómo esto puede combinarse con tecnologías basadas en una lógica de internet de las cosas.

I. Sobre el concepto de “desarrollo”: Los orígenes de la economía ortodoxa, sus reacciones y sus críticas

El objetivo de este apartado es el de hacer un recuento de ciertos periodos históricos en los que políticas económicas con un enfoque de "arriba a abajo" fallaron abruptamente. Por estas razones, se inicia haciendo una revisión de lo que en la ortodoxia se ha entendido cuando se habla de desarrollo económico, para ello se revisan de manera breve dos casos que se basaron en teoría económica ortodoxa.

El primero caso se relaciona con el concepto de "trampas de pobreza" que se acuñó e implementó como instrumento de cooperación internacional para abatir el subdesarrollo en ciertas regiones del mundo. En el segundo caso se revisa la crisis financiera de 2008 que se dio principalmente por las prácticas bancarias en países que se consideraron desarrollados y que, inclusive, atentó y replanteó la agenda de cooperación internacional así como la capacidad de generar el desarrollo que el mismo sistema oficial concibió. En otras palabras, ha sido por las prácticas financieras de países ricos que se ha puesto en riesgo la misma capacidad de proveer ayuda a países pobres. Con esta revisión se pretende no sólo poner en tensión la concepción de desarrollo económico que surge de las teorías económicas ortodoxas, sino comenzar a plantear una crítica hacia las metodologías y fundamentos epistemológicos de la ciencia económica.

Después de hacer una revisión del concepto de desarrollo, se da continuidad a esta crítica al revisar el contexto histórico en el cual se dieron las teorías económicas ortodoxas, esto va alineado con dos objetivos particulares. El primero es el de explorar los orígenes de la ciencia economía ortodoxa en el siglo XXI, así como el contexto en el cual se empieza a dar el uso de las matemáticas que dieron origen a modelos que se han utilizado como herramientas para promover la idea de desarrollo económico. El segundo objetivo es el de marcar una clara distinción entre la crítica que, a lo largo de la tesis, se hace a la economía ortodoxa y algunas otras críticas que se han hecho a ésta; esta distinción se hace para distanciarse particularmente con el pensamiento post-moderno que caracteriza a algunas prácticas en las ciencias sociales. En otras palabras, en esta tesis no se comparte la idea de que la ciencia y tecnología son obsoletas o dañinas para estudiar fenómenos económicos

sino que se sostiene que se necesitan de innovaciones tanto conceptuales como metodológicas para poder estudiar con mayor detalle la complejidad de estos fenómenos.

En términos generales, en este capítulo se busca resaltar la importancia de la práctica científica y de la innovación tecnológica en un contexto en el que las ciencias sociales son incrédulas de los beneficios que esto puede otorgar. La motivación de esto se da dado que, probablemente, los problemas sociales más extenuantes de la actualidad no se refieren a la falta de crecimiento económico ni a colapsos financieros, sino a la presión que generan los seres humanos y sus sistemas económicos en el medio ambiente.

1.1 De Truman a Zoellick - Cómo llegamos a una noción particular del desarrollo y cómo el discurso cambió

En 2010; Robert Zoellick, presidente del Banco Mundial en ese entonces, emitió un discurso repleto de una visión distinta a la que había caracterizado al Banco durante las últimas décadas; había transcurrido más de medio siglo con diseños e implementaciones de políticas públicas de escala e impacto global para la generación de “desarrollo” en aquellas naciones más desfavorecidas.

Zoellick, y el discurso, se mostraban ante una audiencia internacional inquieta. No sólo había pasado dos años desde el colapso financiero y el estallido de las burbujas inmobiliarias en las economías más grandes del mundo, sino que en cada una de las décadas anteriores se había presentado un nuevo reto para aquellas iniciativas que, tanto para el Banco Mundial como para varios países, se habían convertido en los temas prioritarios que el mundo tenía que resolver. Estos problemas, a *grosso modo*, son la erradicación de la pobreza, así como la falta de los medios para detonar crecimiento económico y, por ende, el desarrollo económico en naciones soberanas¹. En cada década a partir de la Segunda Guerra Mundial se ha establecido un consenso con respecto a una agenda; cada una de éstas se ha presentado como una serie de pasos que tiene que echarse a andar para solucionar algún problema económico, y en cada década la agenda y sus pasos han cambiado.

Instituciones como el Fondo Monetario Internacional han sido protagonistas durante momentos de crisis; lo mismo puede decirse de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y el Banco Mundial en relación a lo que se considera “Ayuda Oficial” y, por ende, lo que debe de hacerse cuando se habla de “desarrollo” en todas las acepciones posibles de esos términos. Sin embargo; a pesar de las costumbres, de los roles institucionales y del contexto histórico, Zoellick en su discurso dijo:

Hoy en día, voy a tratar de persuadirlos de que la economía, y la economía del desarrollo en particular, debe ampliar el alcance de las preguntas que ésta se hace [...] (esto es) cada vez más relevante para los desafíos del presente. Se debe ayudar a los legisladores que enfrentan problemas complejos y polifacéticos. Ésta (la economía) debe de sustentar su enfoque con evidencia empírica [...] Ésta debe de llegar a comprender mejor las experiencias de las economías emergentes exitosas [...] sin prescripciones [...] sino de forma inquisitiva, cooperativa, abierta [...] Creo que necesitamos un enfoque más práctico, uno que esté firmemente basado en las lagunas de conocimiento que son clave para las políticas de desarrollo [...] necesitamos saber lo que funciona: necesitamos una agenda de investigación que se centre en resultados. Para ello, será necesario reunir más pruebas y datos para evaluar la eficacia de los esfuerzos de desarrollo, incluyendo a la ayuda.

[...] Tenemos que democratizar y desmitificar la economía del desarrollo, reconociendo que no tenemos el monopolio de las respuestas [...] Tenemos que abrir las puertas, reconociendo que otros pueden encontrar y crear sus propias soluciones. Esta revolución de la investigación abierta ya está en marcha. Tenemos que reconocer que el desarrollo del conocimiento ya no es terreno únicamente del investigador, del académico [...] Se trata del trabajador de la salud en Chiapas que documenta sus resultados, se trata del funcionario local que publica el presupuesto de la escuela en la puerta del aula para que los padres se quejan cuando sus hijos sean estafados, se trata de la Ministra, del académico, del estadístico, y del empresario [...] Necesitamos alcance global con sensibilidad local [...] Necesitamos escuchar y democratizar la economía del desarrollo.

Además de sumarse a la lista de grandes cabecillas del momento que reconocían grandes problemas en los modelos o prescripciones de expertos y especialistas tanto en la economía

como en las finanzas; Zoellick admitió que aquella institución que se creó y se proclamó como la fuente de ideas para el desarrollo se encontraba en jaque ante “problemas complejos y polifacéticos”, para los cuales no hay “prescripciones” sino “lagunas de conocimiento”. En otras palabras, el dirigente del Banco Mundial admitió que no contaban con la fórmula para el desarrollo. Esto provoca un claro contrastante con otro discurso de décadas anteriores; en 1949, Henry Truman, entre muchas cosas, dijo:

Debemos de embarcarnos en un audaz y nuevo programa para generar beneficios a partir de nuestros avances científicos y progresos tecnológicos que están a disposición para el mejoramiento y crecimiento de las zonas subdesarrolladas.

Los Estados Unidos son preeminentes entre las naciones en cuanto al desarrollo industrial y las técnicas científicas. Los recursos materiales que podemos costear para asistir a otros son limitados. Pero nuestros imponderables recursos en conocimientos técnicos están en constante crecimiento y son inagotables.

Una mayor producción es la clave para la prosperidad y la paz. Y la clave para una mayor producción es una más amplia y vigorosa aplicación de conocimiento científico moderno y técnico.

Evidentemente se ha dado un cambio en el discurso sobre “lo que se conoce” en relación a cómo funcionan las economías; sin embargo, ¿qué detonó dichos cambios?

Esto puede atribuirse a que es imposible hacer interpretaciones o generar explicaciones sobre cómo funciona una economía sin tomar en cuenta contextos históricos, territoriales y culturales. Habiendo dicho esto, son dos los factores que se consideran apropiados para dar razón a la evolución que han sufrido las ideas económicas en las últimas décadas; una tiene que ver con la configuración geopolítica del momento, y la otra con los aspectos científicos de la economía como área de estudio.

En aquella época, habiendo finalizado la Segunda Guerra Mundial, se dio una ola de movimientos independentistas; el contexto geo-político había cambiado. En la escena internacional ya no era del todo apropiado ser una nación que mantuviese a otros pueblos como colonias, por lo tanto, los modos tenían que cambiar. Ahora, los modales se basarían sobre la premisa que concebía a las ex-colonias como naciones incapaces de proveerse a sí

mismas; y, por ello, había que llevar a ellas el desarrollo a través de asistencia técnica; a través del quehacer científico. Varios críticos han interpretado este periodo histórico como una maniobra para mantener el control de ex-colonias, las cuales ahora se llamarían “países sub-desarrollados”.

Sin embargo, es aventurado decir que todo siempre se ha tratado de malas intenciones, pues en el quehacer de la economía como ciencia ha sido costumbre pecar de ingenuidad. Algunas décadas bastaron para que la misma ciencia desmitificara la noción que consideraba que el arsenal científico que existía en tiempos de Truman era suficiente para contener y engendrar tanto crecimiento como desarrollo económico. Aquellos aspectos que le otorgaban a la economía un carácter científico se habían basado en ideas incompletas de lo que en el siglo XIX iba a convertirse en la estática como una rama de la física moderna. Y aún en una concepción de avance científico imparabile a lo largo del tiempo, la estática junto con las concepciones de equilibrio en la naturaleza como el resultado de dos fuerzas opuestas interactuando, aún en tiempos de Truman, habrían sido ideas ya añejas y pasadas de moda. A pesar de ello, la economía se resistió a nuevas y más complejas ideas^{1*}.

El *currículum* de un economista en el siglo XX debía basarse en un amplio manejo de modelos matemáticos cuyos métodos no eran muy distintos a los del cálculo infinitesimal, técnicas de medición por las que Newton y Leibniz disputaron la autoría tres siglos atrás. En la década de los 80 aún puede percibirse el ímpetu analítico de los modelos económicos, pues en 1987 Robert Solow, destacado economista del *Massachusetts Institute of Technology*, recibió el premio Nobel en economía por contribuir a las teorías sobre el crecimiento económico. La tesis central del modelo de Solow es que el crecimiento económico está en función del capital^{2*} acumulado y que, por ende, toda economía

1 Para una narración más extensa sobre el origen de la teoría neoclásica económica inspirado en el desarrollo de la estática, se puede consultar la obra de Eric Beinhocker titulada “*The Origin of Wealth*”. En ésta se hace una síntesis de la biografía de Leon Walrass, y cómo este personaje toma ideas directamente de los modelos analíticos de los que la estática se inspiró. Así como un objeto esférico sobre un recipiente redondo entra en estasis por entrar en conflicto con otra fuerza, la de la gravedad, los precios y cantidades en un mercado entran en equilibrio en el momento en el que dos fuerzas opuestas chocan entre sí; surge así, por ende, la idea de la oferta y la demanda.

2 El término capital en el modelo de Solow se refiere a la maquinaria, instrumentos o herramientas que se utilizan en una función de producción junto con el trabajo. Tanto capital como trabajo son tomados en cuenta como factores de la producción.

mostraría un comportamiento predecible y observable, y que “a largo plazo” habría un nivel de ingreso al que se convergería; se trataba de un “estado estacionario” al cual el crecimiento económico, dado cierto nivel tecnológico, se limitaba a alcanzar. En este tipo de actitud se han gestado y utilizado las ideas económicas más influyentes de los últimos años; por lo tanto, los fenómenos económicos podían y tenían que ser analizados a través de funciones matemáticas.

La conveniencia y brillantez de elegantes gráficas y fórmulas que, al articularse, validan la idea de un comportamiento inequívoco en el tiempo fue incuestionable por varios años tanto en las universidades más prestigiosas del planeta como entre las instituciones internacionales financieras más influyentes. Hoy, la idea se encuentra desgastada e incluso ha llegado a asociarse con una forma de pensamiento perezoso.

Ya sea por el abuso de una lógica funcionalista o por un exceso de confianza en lo que el cálculo infinitesimal puede computar para representar fenómenos sociales, las ideas económicas más ortodoxas no escaparon de un razonamiento parecido al modo en el que se describe el comportamiento de objetos inanes e inconscientes, mismos que están sujetos a determinadas leyes, y que por consecuencia de ello, es posible explicar; predecir y controlar a estos objetos. La ortodoxia económica se fundamenta en esta noción y a partir de ella se abastece de ciertos tipos de modelos matemáticos junto con cierto tipo de interpretaciones; así es como se dio la ciencia económica.

1.2 La propagación del desarrollo a través de las instituciones y de la cooperación internacional: Historias de prueba y error de la ayuda oficial

Muchas instituciones se crearon después de que Truman emitió su discurso en 1949. Algunas de ellas terminaron en convertirse en lo que hoy constituye el Banco Mundial, la Organización de las Naciones Unidas y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. Éstas se postularon ante el mundo como las fuentes de conocimiento en materia de desarrollo. Sin embargo, muchos sucesos, que ahora pueden criticarse y analizarse detenidamente, aportan la evidencia, como si se tratara de un caso en un juicio,

para elucidar que no sólo no existía el conocimiento para detonar aquella noción de desarrollo que Truman insinuó, sino que las políticas de “arriba hacia abajo” que se han ejercido también han fallado estrepitosamente.

Instituciones como la ONU y las agencias de cooperación internacional han protagonizado una historia basada en prueba y error; esto es lo que pudo haber incitado a Zoellick a haber emitido un discurso proclive a la democratización de la noción de desarrollo. Aún en años recientes, a través de reportes emitidos se puede apreciar la cristalización de los análisis económicos como si las problemáticas de una sociedad pudiesen ser abordados de la misma manera en la que un médico emite un diagnóstico para un paciente. El “Proyecto del milenio” de la Organización de las Naciones Unidas, a través de un reporte publicado en 2005 presentaba una postura con respecto a las razones que generaban el subdesarrollo en aquellas naciones que, de acuerdo a su prescripción, eran las más desfavorecidas. De acuerdo con esta actitud, se acuñó el término “trampas de pobreza” (*UN Millenium Project*, 2005):

Es práctico, particularmente para países más pobres atrapados en una trampa de pobreza, pensar en el tipo de inversiones que satisfarán los objetivos y así ayudar al crecimiento económico en general [...] una razón por la cual muchos países no están teniendo progreso con los objetivos es porque son muy pobres como para tener progreso y por ende están dentro de una trampa de pobreza [...] Muchos países poco desarrollados, especialmente aquellos en la África Subsahariana, están atrapados con poco crecimiento o con una tasa negativa. ¿Por qué? Porque sus tasas de ahorro son demasiado bajas como para compensar el crecimiento poblacional y la depreciación del capital, por lo que son incapaces de atraer la inversión requerida del extranjero [...] En los países más pobres, especialmente aquellos atrapados en una trampa de pobreza, el proceso debería de empezar con un incremento en la inversión pública, no sólo para satisfacer necesidades críticas sino también para desencadenar un alza en la inversión privada, la cual está limitada por la falta de infraestructura, servicios efectivos y una fuerza de trabajo [...] cualificada.

Para este tipo de análisis pueden decirse dos cosas en específico. La primera se relaciona con la falta de evidencia que existe para poder establecer que, en efecto, las trampas de pobreza son la verdadera razón por la cual existe el “subdesarrollo” en el mundo, y la

segunda tiene que ver con la noción de una “lógica funcionalista” que está impregnada en dicho razonamiento; en este tipo de diagnóstico se busca una explicación basada en “algo en función de otra cosa”. Para fortalecer el primer punto, basta con recurrir a la opinión del Banco Mundial (2005), emitida en el mismo año, con respecto a estas trampas de pobreza.

[...] no hay evidencia empírica y sistemática [...] de que las trampas de pobreza sean lo que explique el mal desempeño económico de África Subsahariana. Los proponentes de dicha explicación arguyen que la baja productividad y el bajo nivel de la tasa de ahorro hacen difícil que los países pobres superen cierto umbral o nivel de ingreso. Esta lógica es plausible dada la persistencia de la pobreza. En general, ni evidencia macroeconómica como microeconómica tiende a apoyar la existencia de dichas trampas. Además, existe muy poca evidencia sobre la naturaleza del tipo de productividad y ahorro que se necesitan a niveles de ingreso muy bajos para que se generen trampas de pobreza.

En relación al segundo punto; el error, de acuerdo con William Easterly (2008), quien es un gran crítico de las trampas de pobreza, al basarse en el modelo que asume que cierto país se encuentra en una “trampa” es que se cae en una logística cuyo único objetivo es el de emprender un programa que consista en dotar a una población de un factor “X”, con el que se espera que el país salga de la trampa. De esta manera, no se está haciendo un esfuerzo por entender las causas inherentes por las cuales puede haber problemas sociales en un país, sino que la rendición de cuentas se justifica al haber proveído dicho factor “X”. Este tipo de opiniones se han dado desde antes, las cuales hacen alusión a la creencia de que a través de soluciones técnicas se pueden resolver problemas de índole social o político (Boas, 2001).

Aunado a todo esto, no sólo la ilusión de una “lógica funcionalista” más la falta de evidencia para reforzar ésta puede ser mencionado; se ha ignorado, al igual, la enorme diversidad en la que las diferentes poblaciones se organizan y entienden diferentes aspectos de la vida cotidiana. Esto puede no sólo ser un impedimento para mejorar condiciones de vida en una región sino también pueden ser un detractor. Se han dado investigaciones que, en los mismos tiempo en los que se reforzaba la idea de las trampas de pobreza, han esclarecido lo diverso y complejo que pueden ser ciertos fenómenos sociales en contraste a cómo éstos se entienden en occidente.

En el caso de África, en materia de salud y la dinámica económica alrededor de la atención médica; se ha podido documentar que la demanda por medicamentos y consultas es muy sensible al precio. Dadas ciertas interpretaciones al rededor del porqué se producen ciertas enfermedades, algunas poblaciones pueden atribuir explicaciones distintas a las que un médico en occidente daría, por lo que la diversidad cultural representa un componente que está independientemente de si éste está considerado en un modelo económico (Miguel & Kremer, 2004).

Cuestiones similares se han documentado en relación a la idea sobre los derechos de propiedad y la exclusividad por la pertenencia de un terreno. Si bien, en países occidentales se ha promovido la idea de que es necesario contar con instituciones y legislaciones que regulen la certidumbre de este tipo de derechos, en otras regiones del mundo simplemente se da otro tipo de organización en la que el uso de suelo se mantiene y promueve por varios individuos o por comunidades enteras (Pande & Udry, 2005). De ahí que para algunos técnicos del desarrollo se interprete algo como un problema inherente en cuanto a cómo se da la legislación en un lugar, cuando realmente se trata del modo de ser y del proceder de la vida cotidiana de un grupo de individuos.

Incluso antes de Truman existía ya cierta percepción sobre lo que algunos países a través de sus capacidades y conocimientos podían conseguir con respecto al bienestar del resto del mundo. En el punto 22 del tratado de Versalles (1919) que se firmó por el término de la Primera Guerra Mundial se escribió:

A aquellas colonias y territorios que como consecuencia de la última guerra han cesado de estar bajo la soberanía de los Estados que anteriormente los gobernaban, y que están habitados por personas no aptas para mantenerse bajo las extenuantes condiciones del mundo moderno [...] debe de ser aplicado el principio de [...] bienestar y desarrollo de tales personas para que se forme una civilización de confianza sagrada, y los principios para el desempeño de esta confianza deberán de ser personificados en este pacto.

El mejor método de impregnar con efectos prácticos a este principio es que la tutela de estas personas debería de ser confiada a naciones avanzadas, quienes a causa de sus recursos, su experiencia o su posición geográfica pueden asumir esta

responsabilidad, y que además están dispuestos a tomarla, esta tutela debe ser ejercida por ellos como obligaciones en nombre de la sociedad.

La historia de la cooperación internacional es un reflejo de cierta ingenuidad y de una ciega confianza sobre lo que se había podido desarrollar en materia científica en ciertas naciones; sin embargo, la concepción de occidente sobre cómo funcionan las economías y las sociedades no es fortuita, sino que responde a un contexto histórico y cultural particular. Hoy se puede hablar de una mentalidad y apreciación sobre cómo funcionan las cosas puesto que “de 1960 a 2008 se han destinado \$4.6 billones de dólares a precios del 2007 y gran parte del mundo permanece en pobreza. La comunidad internacional exige métodos de ayuda con mejor calidad” (Easterly & Williamson, 2011).

1.3 ¿Desarrollo e innovación financiera? Distorsiones entre el sector financiero y el sector real de la economía

Así como en se ha dado una gran discrepancia en las opiniones sobre lo que implica “desarrollo” en torno a los modos en los que debe de promoverse éste a través de la ayuda oficial y la cooperación internacional, una historia muy parecida puede relatarse al rededor del modo en el que se debe desarrollar la banca y los mercados financieros en general.

Poco menos de cuatro años después de que quebraran el banco de inversión *Lehman Brothers* y la aseguradora *AIG*; el economista en jefe de *Goldman Sachs*, William Dudley, y el decano de la escuela de negocios de *Columbia* en Nueva York, Glenn Hubbard, publicaron un artículo titulado “Cómo los mercados de capitales mejoran el desempeño económico y facilitan la creación de empleos” (2004). Tal y como el título lo refleja, el estudio se daba la tarea de, no sólo justificar la existencia de los mercados de capitales modernos y la manera en la que estos funcionan, sino también la de argumentar que tanto el sector financiero como el sector real de las economías con un sistema bancario moderno funcionaban mejor.

En este caso, las economías del Reino Unido y de Estados Unidos, en donde los “los

mercados de capitales [...] dominan el sistema financiero” permitían un mejor desempeño en sus economías en comparación con otras. En este estudio, se afirma tajantemente que, de acuerdo con la evidencia, “las conclusiones son inequívocas”. El mismo estudio asevera que la creación de nuevos instrumentos financieros llamados “derivados” ayudaba a mitigar el riesgo y, al mismo tiempo, generaban estabilidad en la banca.

Muy contraria a esta opinión se encontraba un estudio elaborado por Raghuram Rajan (2005), un destacado economista del Fondo Monetario Internacional. El estudio se tituló “Ha el desarrollo financiero hecho al mundo más riesgoso?”; en éste escrito, que fue publicado en noviembre de 2005, exactamente un año después de la publicación de Dudley y Hubbard, Rajan declaró que “aún cuando la recolección de datos sobre el crecimiento de los derivados de crédito y las permutas de incumplimiento crediticio de los últimos años todavía se encuentra en etapas tempranas [...] el despegue de este mercado es un testamento de cómo la innovación financiera ha sido utilizada para esparcir riesgos tradicionales” y que, por lo tanto, “los riesgos financieros creados por el sistema son mayores”.

Esta diferencia de opiniones entre economistas expertos no se trata de una discrepancia alrededor de la existencia de una “trampa de pobreza” como se dio entre la Organización de las Naciones Unidas y el Banco Mundial y si debido a estas trampas habría que intervenir de alguna manera; en este caso, se trataba de si existía ya una trampa por la manera en la que se había ya intervenido en los mercados financieros, y que, consecuentemente, existía un riesgo sistémico generalizado dada la manera en la que estaba operando la banca en países como Estados Unidos y el Reino Unido. ¿Cómo es que podían darse, entre expertos, interpretaciones de la economía tan diferentes?

A estas alturas no es descabellado decir que Rajan tenía razón. Después de que se diera la Gran Depresión de 1928; a través de la ley *Glass-Steagall* (s.f.), que entró en vigor en 1933, en Estados Unidos se evitó que aseguradoras, bancos de inversión y bancos comerciales utilizaran depósitos de clientes para destinarse a inversiones más riesgosas. Sin embargo, en el año 1999 se aprobó la ley *Gramm-Leach-Bliley* (s.f.) la cual, prácticamente, revocó a la ley *Glass-Steagall*. A partir de este periodo, lo “moderno” e “innovador” era hacer lo completamente opuesto a las medidas regulatorias que se implementaron como medidas

para evitar otro colapso financiero como el de la Gran Depresión.

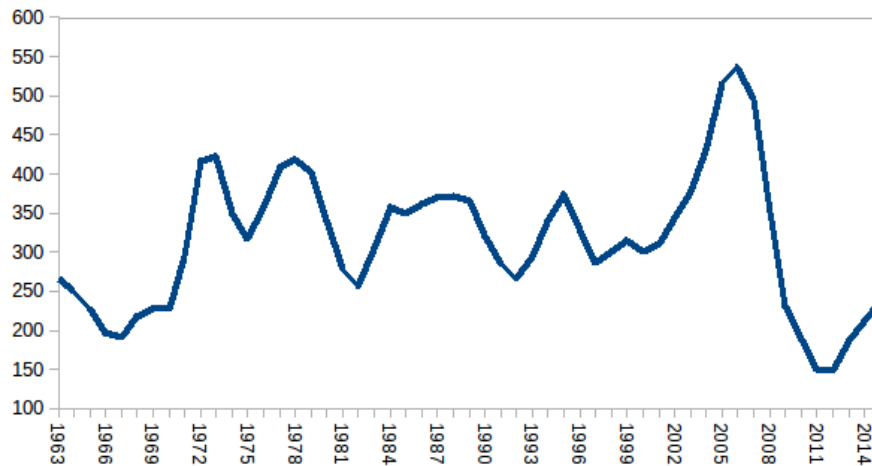
Por lo tanto, durante varios años, en la banca en Estados Unidos, y también en la del Reino Unido, se promovió la creación y distribución de productos financieros sumamente complejos. Un ejemplo de éstos son los derivados financieros; estos productos reciben este nombre ya que su valor deriva del valor de otro activo. Pueden, por lo tanto, derivarse productos del valor de *commodities* como el oro y el petróleo, del tipo de cambio entre dos monedas, o sobre el valor de una hipoteca. Rajan, en su artículo cuestiona si el riesgo financiero podría eventualmente convertirse en un riesgo dentro del sector real de la economía, y eso fue precisamente lo que sucedió.

Dado que a partir de la revocación de *Glass-Steagall*, en EEUU, la banca se veía menos constreñida en lo que podía hacer, se podía dar todo tipo de innovación y experimentación en el quehacer financiero. Ahora los bancos no se limitarían a recibir depósitos y otorgar préstamos; ahora, las instituciones financieras podían ampliar sus prácticas y crear nuevos productos financieros como los derivados; a esta actividad se le llamó securitización.

Fue precisamente la creación de lo que se llamó *mortgage-backed securites*, que no era otra cosa más que títulos atados al precio de no sólo una sino varias hipotecas lo que empezó a esparcirse y a declararse como una excelente inversión. Estos productos eran un gran artificio financiero que tomaba el rendimiento de varios pagos de hipotecas de muchos usuarios y, bajo la idea de que al hacerse así estos instrumentos serían menos riesgosos, se empaquetó el historial de pagos de varios deudores en un sólo *security*.

En conjunto con un aumento en la emisión de hipotecas, se empezó a confeccionar una bomba de tiempo. No sólo mucha gente que, de acuerdo a la calificación crediticia que daban los bancos, no contaba con la capacidad de pago comenzó a recibir préstamos para comprar casas, sino que a través del quehacer financiero se promovía que aquellas deudas convertidas en un derivado representaran un producto financiero rentable. Cuando los deudores no pudieron pagar las hipotecas, los *mortgage-backed securities* pasaron de ser una inversión rentable a una inversión riesgosa; en efecto, el riesgo del sector financiero se convirtió en una amenaza para el sector real de la economía.

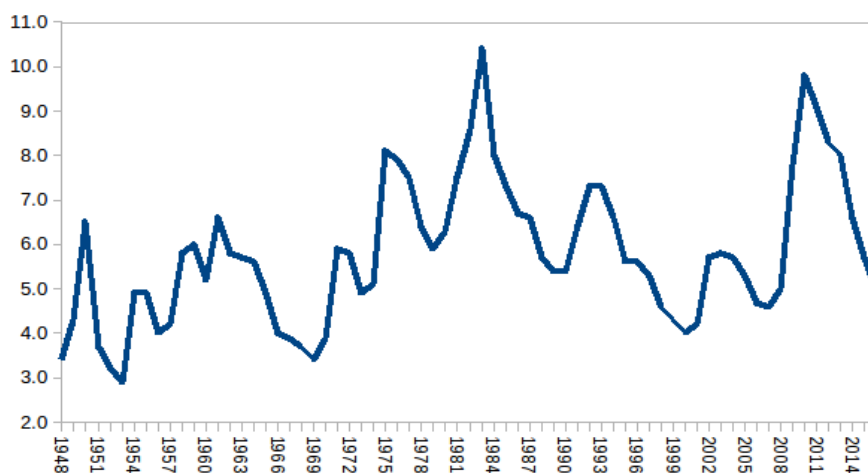
Gráfica I.1. Venta de residencias en EEUU (unidades en millares por año)



Fuente: elaboración propia con información del Buró de Censo de Estados Unidos.

En específico, el sector de la construcción se vio sumamente afectado, pues el mercado hipotecario había fomentado una burbuja al haber incentivado la venta de residencias a niveles muy por encima a cualquier otro periodo en la historia de la economía estadounidense. La venta de casas, después de la crisis financiera de 2008, cayó a niveles aún por abajo de los mínimos históricos que se habían atestiguado en la década de los años sesenta. Y en cuanto a si los mercados de capitales promovían el empleo como el artículo de Dudley y Hubbard insinuó, después de la crisis el porcentaje de desempleados en Estados Unidos llegó a estar muy cerca del 10 por ciento; niveles que no se veían desde la década de los ochenta.

Gráfica I.2. Tasa de desempleo en EEUU (unidades porcentuales por año)



Fuente: elaboración propia con información del Buró de Estadísticas de Trabajo de Estados Unidos.

Después de la crisis, se volvió más que evidente que las teorías ortodoxas y modelos económicos representan un enorme riesgo para la economía real. Pero no solamente lo que se dio en un país como Estados Unidos por consecuencia de las prácticas bancarias de *Wall Street* repercutió únicamente en el norte del continente americano, la crisis financiera de 2008 se esparció por el mundo de tal modo que la palabra “contagio” deja de ser un término exclusivamente recluso para hablar de modo metafórico. En efecto, se dio un contagio que agravó la situación financiera y económica tanto de naciones “avanzadas” como del mundo en “desarrollo”.

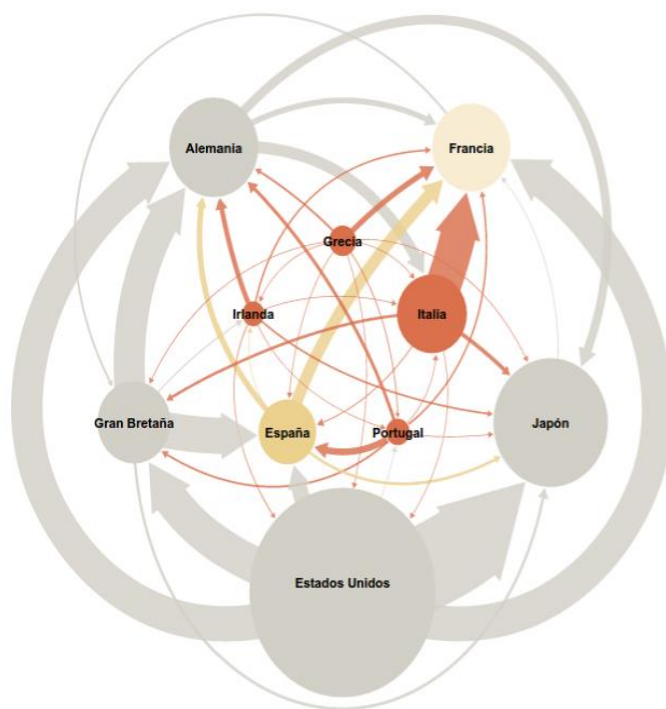
En octubre de 2011, el diario estadounidense *New York Times* publicó un gráfico elaborado con información del Banco de Pagos Internacionales en el cual se ilustraba cómo la crisis de deuda europea podía explicarse como una situación extremadamente compleja; y al hacer alusión a la palabra “complejidad” se pretendía evidenciar la interdependencia que había entre la deuda de las naciones europeas con respecto a la deuda que existía entre otros países.

En otras palabras, más allá de ilustrar que los mercados de capitales promovían, por defecto, el desarrollo de una economía; dada la crisis inmobiliaria y financiera que surgió en Estados Unidos y la situación de deuda de algunas naciones europeas, la red de

endeudamiento y las intrincadas interrelaciones que se daba entre los países podía verse como un gran problema provocado por el mismo sector financiero, y que si un país entraba en morosidad de pago entonces, como un “efecto dominó”, muchos otros países se verían también en problemas.

Ésta era precisamente la situación con el caso de Grecia en el año 2010, pues si este país no atendía sus obligaciones con países como Portugal e Irlanda, entonces éstos no podrían pagarle a países como Italia y España; y de ser así éstos no podrían pagarle a Francia y Alemania, por lo que Japón y Gran Bretaña tampoco podrían pagarle a quienes le debían. Y si a pesar de todo esto, Estados Unidos se encuentra en una gran recesión y, a su vez, debe dinero a gran parte de todas las naciones mencionadas anteriormente ¿qué podría hacer de esta historia una aún más lúgubre?

Gráfica I.3. Interconexión entre las deudas de los países durante la crisis de crédito europea en 2010



Fuente: New York Time, 2011.

El contagio fue tan incisivo que incluso llegó a replantear los Objetivos del Milenio establecidos por la comunidad internacional como las metas a conseguir en materia de desarrollo y combate a la desigualdad. En el año 2010, Robert Zoellick y Dominique Strauss-Khan; líderes del Banco Mundial y del Fondo Monetario Internacional respectivamente en aquel entonces, firmaron el prefacio del Reporte Global de Monitoreo que el Banco Mundial publica cada año. El reporte se publicó bajo el título “Los objetivos de Desarrollo del Milenio después de la crisis” (2010), pero sin embargo, nunca hubo un reporte que hablase de los objetivos del milenio “antes de la crisis” previendo que una crisis económica de tal magnitud iba a darse.

En aquellos tiempo en los que Henry Truman habló de una supremacía científica que tenía la capacidad de postrarse ante al mundo como una solución que iba a mitigar al “subdesarrollo” de aquellas naciones más desfavorecidas, muy lejos se estaba de prever que el mismo desarrollo financiero de aquellas naciones “avanzadas” tenía la capacidad de replantear y subestimar la misma agenda de desarrollo que los ricos podrían darle a los pobres.

La ciencia económica, por ende, se vio no sólo en una crisis en relación a la capacidad de solucionar los problemas que existen en el mundo, sino también en la incapacidad por poder interpretar cómo es que las economías se originan y cómo es que éstas funcionan. Es por ello que en el siglo XXI puede hablarse de una “crisis epistemológica” en el quehacer de la economía como ciencia, y por ello el gran reto en la actualidad es atender el desajuste que hay entre las teorías y prescripciones, y la misma realidad.

1.4 Matemáticas, modelos económicos y la interpretación de la realidad

Existen muchos ejemplos históricos que evidencian que la capacidad de gestionar tanto el orden político como la construcción de grandes obras ingenieriles está dada, en parte, por la capacidad de hacer matemáticas. Sin embargo, las matemáticas no son una especie de “caja negra” que resuelve problemas “mágicamente”; la capacidad de hacer matemáticas está dada por la capacidad de la especie humana para generar escritura y, por lo tanto, por la

capacidad de lenguaje.

En el momento que una persona pretende hacer un dibujo en el cual se representen las dimensiones de un espacio cualquiera; al prestar especial atención en las relaciones y proporciones que guardan los objetos entre sí se está haciendo un ejercicio de abstracción. El dibujo o plano no es el espacio sino un intento por representar a éste. Hugo Zemelman (2004) extiende esta analogía en el ámbito político y social, y a esto le llama *episteme*. Con esto se refiere al intento “por construir una relación con la realidad. No es en sí la realidad ni es la relación, pero sí el esfuerzo de su construcción [...] lo epistémico es parte de la vida cotidiana. Todos los días construimos relación con las circunstancias que nos rodean [...] es parte, entonces, de la experiencia; y, por lo tanto, parte del comportamiento cotidiano [...]”.

Desde esta perspectiva, podría decirse que existe la economía como algo real y mundano, y que ésta es algo que se da como el resultado de las múltiples interacciones entre los miembros de una sociedad, pues en una economía se producen, se intercambia y se distribuyen bienes y servicios. Sin embargo, también está el quehacer del pensamiento económico, aquel que intenta generar explicaciones y descripciones tanto en aulas como en centros de investigación sobre cómo y por qué se dan estas interacciones.

¿Cómo han sido los intentos por interpretar los fenómenos de la realidad económica? Y en específico, ¿cómo se han dado éstos esfuerzos desde la perspectiva económica dominante? Sin lugar a duda, mucho ha tenido que ver el uso de matemáticas; aunque no son las matemáticas *per se*, pues cualquier uso de algún lenguaje abstracto podría interpretarse como matemáticas y, por ende, al hablar de esto se entra en un campo sumamente amplio. Pero en el quehacer económico, y sobre todo a través del mundo académico, se ha dado cierto sesgo en el modo en el que se transmiten las ideas económicas. Todo ha parecido seguir la fórmula de una confianza ciega que, a través de axiomas, pruebas matemáticas y el impecable rigor en consistencias lógicas, busca impregnar de certidumbre a la manera en la que se comportan las economías; aun cuando éstas estén no sólo en contradicción con la realidad sino también con el sentido común.

Si bien, las aseveraciones anteriores pueden parecer exageradas e incluso pretenciosas para

la apreciación de economistas experimentados ¿qué podría argumentarse si los más distinguidos economistas entre los cuales hubiese ex-funcionarios y premios Nobel opinaran lo mismo? Joseph Stiglitz, premio Nobel en economía y ex-colaborador del Banco Mundial, en relación a los modelos contemporáneos con los cuales se explica y se hace la política económica, opinó que “cualquiera que vea estos modelos diría que éstos no pueden proveer una buena descripción del mundo moderno” (como se cita en Beinhocker, 2008 p. 22). El mismo Alan Greenspan en alguna ocasión dijo “en realidad no sabemos cómo (la economía) funciona [...] Los modelos pasados ya no funcionan” y también mencionó que “un problema sorprendente es que un gran número de economistas no son capaces de distinguir entre los modelos económicos que construimos y el mundo real” (como se cita en Beinhocker, 2008 p. 22). En relación a esto Thomas Piketty confesó que durante sus estudios doctorales en economía “estaba consciente del hecho de que no sabía nada sobre los problemas económicos del mundo” (2014, p. 28) y que “la disciplina económica tiene que superar su pasión infantil por las matemáticas y por la especulación puramente teórica y, usualmente, sumamente ideológica que se da a expensas de la investigación histórica y de la colaboración con otras ciencias sociales” (2014, p. 29).

En un encuentro académico en relación a la investigación educativa que tuvo lugar en México en el año 2004, Zemelman enfatizó “¿Qué *paideia* es la pertinente para [...] hoy en el contexto de la sociedad tecnológica y de la sociedad globalizada?” (Zemelman, 2004). Ante tal pregunta, que además de insinuar el reto que ésta presupone, sugirió enfatizar la importancia que en la educación y en la práctica adquiere el uso del lenguaje. Según sus palabras, “al empobrecerse el lenguaje [...] también se empobrece la capacidad de pensar [...] entendiendo a la capacidad de pensar [...] como la capacidad de significar [...] la capacidad de mostrar mundo, la capacidad de nombrar cosas[...].” (Zemelman, 2004).

En esta misma actitud, 10 años después, se da una “carta abierta” hecha por la Iniciativa Internacional de Estudiantes por la Pluralidad en la Economía. En esta carta firmada “65 asociaciones de estudiantes de economía de más de 30 países^{3*} diferentes” se planteaba que “No es sólo la economía mundial la que está en crisis. La enseñanza de la economía está en

3 De acuerdo al sitio *web* de la iniciativa la carta es firmada por asociaciones estudiantiles en Argentina, Australia, Austria, Brasil, Canadá, Chile, Dinamarca, Inglaterra, Francia, Alemania, India, Israel, Italia, México, Rusia, Escocia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos y Uruguay.

crisis también, y esta crisis tiene consecuencias más allá de lo que se enseña dentro de los muros de las universidades. Lo que se enseña moldea las mentes de la próxima generación de los responsables en formular las políticas públicas, y por lo tanto moldea las sociedades en las que vivimos” (2014).

Antes de esta carta abierta e incluso de la crisis financiera de 2008; Zemelman, en el mismo evento que se mencionó anteriormente y en relación al concepto de episteme, habló de algo a lo cual denominó “episteme institucional”. Con esto, intentó aludir a aquellas lógicas bajo las cuales las instituciones se rigen, sobre todo aquellas que son instituciones educativas. “La episteme rige el funcionamiento de las instituciones y, en cierta medida, [...] lo epistémico puede ser también ideológico. Puede ser incluso, lógica burocrática”, añadió (Zemelman, 2004).

Con gran parentesco a las ideas plasmadas en aquella carta que demandaba la pluralidad de ideas y denunciaba el riesgo inherente del sistema educativo, Zemelman continuó diciendo que “Las instituciones, y desde luego las educativas, tienen una epísteme (que) [...] regula el comportamiento, jerarquiza, fija pautas, (y) valora [...] el comportamiento adecuado de la persona” (Zemelman, 2004). ¿Existen similitudes entre las prescripciones de Zemelman y algunos acontecimientos históricos protagonizados por las instituciones económicas más influyentes del mundo?

A raíz de la crisis financiera de 2008, cuyo origen se dio por las prácticas bancarias en *Wall Street*, la Unión Europea sufrió un contagio que provocó una gran crisis económica en varios de sus países miembros. Como consecuencia, el Fondo Monetario Internacional promovió una política de austeridad para aquellos países que se sometieron a un severo endeudamiento desde antes de la crisis.

La lógica o fundamento que ha apoyado la austeridad, aún bajo circunstancias en las que se creería que lo más conveniente es estimular la economía, fue un estudio elaborado por dos de los más eminentes economistas de estos tiempos, Carmen Reinhart y Keneth Rogoff. Las conclusiones de su investigación reflejaron que cualquier nación cuyo cociente de deuda con respecto a su producto interno bruto rebasara el 90% vería limitada,

sustancialmente, sus capacidades para crecer económicamente (2010). Por lo tanto, de acuerdo a los autores, es prioritario la reducción de la deuda antes que preocuparse por un elevado nivel de desempleo para poder recuperarse de una crisis. Dicho de otro modo, la capacidad de crecer es, forzosamente, una función del tamaño de la deuda que tiene un país.

El estudio tuvo un gran impacto en el debate político e influyó mucho de lo que el Fondo Monetario Internacional ha propiciado en Europa bajo un lema de austeridad y disciplina fiscal, países como España, Grecia, Italia y Chipre vieron pocas opciones para liberarse de la lacerante situación económica que les aquejaba. Pero, ¿no existía otra opción? ¿Es posible deducir, de alguna u otra manera, que existe esta ineludible ley en la que ante un endeudamiento de al menos un 90 por ciento del PIB de una nación, el crecimiento económico invariablemente se detendrá? ¿Cómo es que Reinhart y Rogoff llegaron a tal conclusión?

El método que estos dos eminentes economistas siguieron es un claro ejemplo de lo que incitaría la frustración e inquietud de los estudiantes que manifiestan la necesidad de enfoques más diversos en el estudio de la economía. No obstante, Reinhart y Rogoff fueron sorprendidos en 2010 por Thomas Herndon, un joven estudiante de posgrado de la Universidad de *Massachusetts Aherst*. Lo que inició como una asignatura para uno de sus cursos, culminó en una investigación que desmitificó el umbral de deuda del 90 por ciento y que puso en serios aprietos a cualquier argumento que abogara por una política de austeridad en tiempos de crisis.

Herndon, como estudiante de economía, tenía que replicar alguna investigación que por su relevancia política y rigor metodológico como un mero trabajo que correspondía a alguna de sus asignaturas académicas; sin embargo, al no poder replicar con exactitud el estudio y al ser discutido con más economistas, terminó por convencerse de que no era él quien estaba cometiendo errores, sino los mismos Reinhart y Rogoff.

Los errores eran varios y graves, a pesar de que el análisis estadístico para cualquier caso empírico puede abordarse de múltiples maneras; los autores, al usar una muestra de 20 países para observar su desempeño económico en momentos de gran endeudamiento a lo

largo del periodo comprendido entre 1946 y 2009, aparentemente, olvidaron tomar en cuenta una cuarta parte de los datos del total de los países para los cuales realizaron su análisis, también manejaron algunos datos de tal modo que hacía parecer que un solo año de recesión con gran endeudamiento para Nueva Zelanda tenía el mismo peso que 19 años con condiciones económicas similares en Gran Bretaña (Herndon, Ash & Pollin; 2013).

No sólo los errores estadísticos representan un argumento convincente para dudar de las conclusiones del estudio, también podría cuestionarse la predisposición a encontrar un comportamiento general o una especie de ley a través de un análisis estadístico. Fuesen cuales fuesen los resultados del estudio de Reinhart y Rogoff, éstos presumen haber encontrado un mecanismo o función en la que cualquier nación que rebese un umbral de deuda de un 90 por ciento con respecto a su PIB, percibirá entonces un estrepitoso alto en sus tasas de crecimiento.

Entonces, ¿no es relevante el contexto peculiar de una época en particular también relevante? ¿Son las circunstancias políticas y económicas del periodo de posguerra completamente equiparables a la primera década del siglo XXI? Este percance en el quehacer de la economía y en el quehacer de investigación, a través de lo que podría entenderse como el “epísteme institucional”, es lo promueven muchas instituciones políticas y académicas; sin embargo, tal y como la carta abierta dice “la economía es una ciencia social; los fenómenos económicos complejos rara vez pueden ser comprendidos en un vacío; removidos de su contexto sociológico, político e histórico” (Herndon, Ash & Pollin; 2013).

Éste parece ser un problema común el cual Hugo Zemelman resumió como “un desajuste entre la teoría y la realidad” (s.f., p. 2). Tanto en la historia de la ayuda oficial para el desarrollo, el quehacer bursátil y financiero, así como las políticas y soluciones para crisis y problemas económicos parece existir un desajuste entre las lógicas y técnicas que recurrentemente se utilizan y el mundo real.

¿Cómo es que pudo suceder esto en el ámbito de la economía? En términos más específicos ¿cómo es que se da esta noción, como en el desliz de Reinhart y Rogoff, en la que los

fenómenos económicos se atribuyen a leyes y comportamientos generales que hacen pensar que la totalidad de un sistema puede ser entendido a partir de analizar sólo algunas de sus partes? Es probable que la noción de “análisis económico” tenga orígenes históricos específicos y que éstos puedan enunciarse, no de modo axiomático y prescriptivo, sino como una descripción de eventos que pudieron haber influenciado el pensamiento económico contemporáneo.

1.5 Ley de los rendimientos decrecientes, utilitarismo, estática y crecimiento económico

Probablemente Adam Smith no le decía con esa intención, pues cuando habló de “una mano invisible” muchos pudieron haber adoptado la idea de que existe un ente, o una especie de mecanismo ajeno a los sentidos que, en efecto, hace que los mercados surjan y que se manifiesten tal y como ciertas “leyes” lo dictan. La noción de que un mecanismo de mercado que a través del precio ajusta y estabiliza las cantidades demandadas y ofertadas de un bien o servicio en particular, pareció convertirse en, no sólo una explicación plausible, sino en un hecho irrefutable.

Esto puede inferirse dado que, a medida que existe escasez de un bien y la demanda sobrepase la capacidad de los oferentes por satisfacerla, el precio se verá forzado a subir; y, en el caso contrario, cuando la oferta sobrepase la demanda el precio caerá. Esta idea también se da en Francois Quesnay que con su “*Tableau économique*” sugirió que podrían calcularse tanto precios como cantidades para poder equilibrar la economía. Estas ideas congeniaban con lo que tanto Jaques Turgot, ministro durante el gobierno de Luis XV (Backhouse, 2002), y lo que el filósofo inglés, Jeremy Bentham, concibieron como “leyes de rendimientos decrecientes”.

Turgot y Bentham confeccionaron explicaciones que describían el comportamiento de la oferta y demanda respectivamente. El francés habló de cierto límite en las capacidades de producción pues a medida que un granjero cultivara ciertos productos, éste podría obtener mayores rendimientos pero hasta cierto punto, pues los rendimientos crecerían a una tasa cada vez menor hasta encontrar un límite (Niehans, 1990). Lo mismo ocurriría desde el

punto de vista de Bentham pero en relación al consumo pues, basando su lógica en la corriente de pensamiento utilitarista, insinuaba que lo útil era lo más importante en una sociedad y que el beneficio, o utilidad, que surge de las acciones de las personas podía calcularse (Bentham, 1879).

Estas nociones dieron pie a concebir que, así como la oferta, la demanda tenía también rendimientos decrecientes. El razonamiento se abastecía de una lógica igual; a medida que un individuo consume algún bien que le produce placer o utilidad, un mayor consumo conduce por ende a una mayor utilidad. Sin embargo, así como con la oferta, tendría que haber un límite. En este sentido, si una persona que disfruta de beber vino encuentra la primera copa sumamente placentera, las posteriores tendrían que aportar menos utilidad hasta que ésta dejara de aumentar en lo absoluto.

Estas dos leyes, que aplicarían tanto para la oferta como para la demanda, funcionaron como una coherente explicación que revelaba aquel mecanismo que hacía que la economía encontrara cierto balance y que, por lo tanto, el funcionamiento de una economía podría entenderse y explicarse si se hablase en términos de rendimientos decrecientes y equilibrios de mercado. No obstante, la idea cobró mayor rigor y pudo ser aparentemente formalizada cuando ésta se axiomatizó a través del uso de matemáticas. Posteriormente, la idea se extendió y se convirtió en una especie de dogma para futuros economistas.

El personaje que inició dicha campaña fue Leon Walrass, quien encontró gran inspiración en hallazgos de la física, específicamente, en la rama de la estática. Luis Poincot, un físico francés, había publicado una obra llamada “Elementos de la Estática” (1803); Walrass tituló a su obra “Elementos de Economía Política Pura” (1874). De acuerdo al biógrafo de Walrass, William Jaffé, la gran inspiración de la obra del economista se obtuvo del segundo capítulo de la obra de Poincot la cual se titulaba “Sobre las condiciones de equilibrio expresadas a través de ecuaciones” y es de ahí como se replicó una idea de la física para dar lugar a las “leyes de equilibrio” en la economía. Para Walras, la idea de “una ciencia de fuerzas económicas, análoga a la ciencia de las fuerzas astronómicas” (como se cita en Ingrao & Israel, 1990, p. 82) era algo convincente, por lo que también fue convincente copiar los fundamentos epistemológicos de la física en la ciencia económica.

Bajo esa lógica, así como existen fuerzas o “leyes” que desaceleran y estabilizan a un objeto que se desliza sobre una pendiente hasta que éste entra en equilibrio, lo mismo podría decirse de los precios y las cantidades de los mercados, pues dos fuerzas opuestas contribuyen a que este fenómeno ocurra, siendo éstas las fuerzas de la oferta y de la demanda.

Poco más de cinco décadas después de la obra de Leon Walrass, a *London School of Economics* llegó el joven John Hicks (Marchionatti, 2009) quien iba a convertirse en el premio Nobel de Economía junto con Keneth Arrow en 1972 por robustecer aún más las teorías de equilibrio general en la economía. La *London School of Economics* había obtenido una gran influencia por la corriente de pensamiento que se dio a inicios del siglo XX en Austria, a la cual se conoce como positivismo lógico y que fue promovida por los miembros de un movimiento llamado “el círculo de Viena”.

Este movimiento hacía un gran énfasis en la necesidad de establecer los límites dentro de la lógica matemática para poder distinguir entre lo que son “proposiciones genuinamente científicas” y aquellas que no. Este tipo de pensamiento pudo haber potenciado el estilo que, se consideró, otorgaba el carácter científico a la economía neoclásica y que después se esparciría en las más prestigiosas universidades de Estados Unidos e Inglaterra. Joan Robinson, una economista destacada de aquella época, en relación al concepto de valor opinó que:

“[...] el argumento entero parece ser metafísico; éste promueve un ejemplo típico de cómo las ideas metafísicas operan. Lógicamente, es un mero embrollo de palabras [...] (1962, p.39). El valor no ayudará. No tiene contenido operativo. Es sólo una palabra.” (1962, p. 47).

En el mundo anglosajón, a través de economistas como John Hicks, Keneth Arrow y Paul Samuelson se cimentó el análisis económico como justamente eso, “un análisis”. En otras palabras, un modo de interpretar la economía en el cual es posible desagregar los componentes de una totalidad y poder estudiar el todo a través de esta desagregación, tal y como se hace en la rama de las matemáticas conocida como “análisis de variable real”, nombre que también se usa como sinónimo para referirse al cálculo infinitesimal sobre el

que Newton y Leibniz escribieron en el siglo XVII, y que sirvió como fundamento para la elaboración de teorías en la física clásica de ahí en adelante.

Quince años después de que Hicks y Arrow fueran galardonados con el Nobel, Robert Solow obtuvo el mismo premio por sus teorías de “crecimiento balanceado”. Con el uso de funciones analíticas y derivadas, Solow elaboró un modelo en el cual puso a la producción total en una economía como una función del capital acumulado y de estas elaboraciones matemáticas se podía deducir que existe un equilibrio general en las economías, a lo cual se llamó “el estado estacionario” (1956). Dicho de otro modo, dado que existen “rendimientos decrecientes”, los cuales se infieren por las mismas características de la función matemática que se usa, una economía encontraría un balance, tal y como Turgot, Bentham y Walrass asumieron hace más de dos siglos.

En la actualidad la idea de “mercados en equilibrio” y “leyes económicas” se somete a un fuerte y poco indulgente cuestionamiento. Eric Beinhocker, uno de los miembros del Instituto del Nuevo Pensamiento Económico tiene un estilo un tanto irónico para reflejar esto cuando dice que “[...] El economista Werner Hildenbrand alguna vez comparó a la teoría del equilibrio general con una catedral gótica para la cual Walrass y sus contemporáneos habían sido los arquitectos, y los grandes economistas del siglo XX los constructores maestros. Desafortunadamente [...] la catedral fue construida sobre cimientos muy temblorosos.” (Beinhocker, 2010, p. 43).

Probablemente, el más grande error ha sido la ciega confianza hacia el estilo matemático basado en simples axiomas que, al articularse, hacen posible conocer el estado general de una economía. Mucho de lo que permite esta equívoca inferencia es el hecho de dotar a los modelos de “supuestos simplificadores” que permite conceptualizar a las teorías económicas, acobijando a éstas bajo cierta consistencia lógica y cierta abstracción que permite brindar la ilusión de que si las ecuaciones y las gráficas son sistemáticamente consistentes, entonces también lo es la realidad.

Supuestos como “todos están dotados con al menos alguna cantidad de algún bien, los mercados de futuros existen para cada producto y servicio, todos son extremadamente

racionales en el cálculo de decisiones, y todos conocen las probabilidades de todos los estados futuros del mundo” (Beinhocker, 2010, p. 38), son algunos de las muchas simplificaciones que son necesarias para que los modelos se postren como válidos y verdaderos, y que, a su vez, permite agregar cualquier aspecto de la realidad en variables que después serán computadas en una función analítica.

I.6 Anti-ciencia, anti-mercado y posmodernismo: ¿verdad o reto?

Anteriormente, se han analizado algunas de las críticas hacia la noción de desarrollo y hacia la economía ortodoxa como disciplina. Sin embargo, algunas otras críticas se han generalizado la totalidad de la culpa en los conceptos de ciencia y tecnología; este tipo de posturas arguyen que gran parte de los problemas contemporáneos responden a un tipo de mentalidad que vio sus orígenes en Europa varios siglos atrás.

En la década de los noventa, Luis Villoro, el escritor mexicano, escribió una obra que aglomeraba una serie de breves ensayos en los que, con una gran habilidad retórica, intentó describir a aquellas ideas que dieron pie al tipo de pensamiento que ha caracterizado a las sociedades occidentales a partir del renacimiento. Siendo estas ideas las ideas de la modernidad, la obra se titula “El pensamiento moderno”. Villoro, en sus ensayos, intenta transmitir aquellos componentes, que a lo largo de los últimos siglos, han caracterizado al pensamiento de “la época moderna”; *a grosso modo*, el escritor señala que las ideas más destacadas son aquellas que conciben al ser humano como el centro del mundo, como un agente capaz de moldear a la naturaleza y a su entorno a su gusto, y que el progreso de una sociedad puede conseguirse mediante el uso de la razón y del conocimiento científico.

Evidentemente, esto puede ser muy cuestionado en el ámbito de la economía, pues a partir de discursos como el de Henry Truman e investigaciones como las de Reinhart y Rogoff es como muchas personas pueden pensar dos veces antes de escuchar la narrativa de algún “experto” en la “ciencia económica”; es justamente este tipo de reacciones a las cuales Villoro se refiere, aunque éste lo hace de un modo más generalizado. A través de una escritura literaria y retórica, el escritor mexicano hace referencia a una actitud posmoderna

renuente a seguir los pasos de una época precursora puesto que “la modernidad se entiende fundamentalmente como dominio racional sobre la naturaleza y la sociedad” (1992, p. 93).

Pero, muy probablemente, esta actitud posmoderna, en general, no sea más que un recurso meramente retórico y rebuscado que podría clasificarse como un mero discurso, tal y como podría decirse del discurso de Truman. Trátese de un mero “juego del lenguaje” o una moda sobre cómo estilizar la discusión intelectual; el posmodernismo, en décadas recientes, ha caracterizado mucho de lo que se discute en relación a las teorías económicas y al tipo de actitudes que hay que adoptar en relación al debate económico y político, sobre todo en América Latina. Para esclarecer más esta descripción, en relación al posmodernismo, Villoro opinó lo siguiente:

Algunos hablan ya de "situación posmoderna". Por desgracia, el término no deja de ser vago, pues no se precisa cuál es la "modernidad" en trance de abandono, y ambiguo, pues no se definen las nuevas creencias que habrían de reemplazarla. Hasta ahora el "posmodernismo" parece utilizarse como un membrete que cubre cualquier forma de escepticismo sobre creencias básicas del pensamiento moderno. Más que un indicador de un pensamiento renovador parece síntoma de una ausencia: la que se deja el descreimiento en una figura del mundo antes de ser remplazada por otra (1992, p. 99).

Otros definen al posmodernismo como “un conjunto de prácticas críticas, estratégicas y retóricas que emplean conceptos como diferencia, repetición, trazo, simulacro e hiperrealidad para desestabilizar a otros conceptos como presencia, identidad, progreso histórico, certeza epistémica y la univocidad del significado” (Aylesworth, 2005). Otros han optado por definiciones menos elaboradas al decir que el posmodernismo se trata de “incredulidad hacia las meta-narrativas” (Lyotard, 1984, p. xxiv).

Villoro, lejos de definir qué es la posmodernidad, interpretando a la modernidad como un periodo histórico, identificó cierto hartazgo con respecto a aquellas ideas características del periodo renacentista en adelante. El escritor planteó dos aspectos que, de acuerdo con él, pueden ser descriptivos del pensamiento posmoderno. Tal vez estas dos posturas coexistan en la actualidad; al decir esto no se pretende insinuar que “la posmodernidad llegó” o que se debe entonces adoptar el tipo de “prácticas críticas, estratégicas y retóricas” que los

adscritos a esta corriente utilizan. Más bien, se trata de evidenciar cómo es que algunos movimientos, que han resultado muy influyentes en regiones como América Latina, han surgido como respuestas al tipo de eventualidades que los escándalos económicos y políticos de décadas recientes han provocado, tal y como los que se han mencionado anteriormente en este trabajo.

El primer punto que Villoro enfatiza es que en el pensamiento posmoderno se aprecia un severo escepticismo hacia cualquier noción de ciencia y de modernidad. Existe una gran cantidad de pensadores cuyas ideas se inclinan hacia esto que Villoro describe, pero una figura muy representativa, y tal vez un precursor, de este tipo de ideas fue Paul Feyerabend quien acuñó el término “anarquismo epistemológico”. Feyerabend se oponía a cualquier tipo de rigor científico, pues él exclamaba que no existía un método para ampliar el bagaje de conocimientos que se podían adquirir; este filósofo concebía a la ciencia como una especie de gremio exclusivo que había monopolizado las reglas que dictaminaban cómo debían de llevarse a cabo las metodologías y las investigaciones para poder ampliar el conocimiento científico. Sin embargo, no sólo no existía un método que la ciencia podía promover, sino que, de acuerdo a él, la ciencia era un detractor para la sociedad:

“La ciencia está más cerca de un mito de lo que una filosofía de la ciencia está preparada para admitir. Es una de las muchas formas de pensamiento que han sido desarrolladas por el hombre, y no necesariamente la mejor. Es conspicua, ruidosa, e insolente; pero es inherentemente superior sólo para aquellos que se han ya decidido en favor de cierta ideología, o que la han aceptado sin nunca haber examinado sus ventajas y sus límites” (como se cita en Preston, 1997).

Otros como Boaventura de Sousa Santos, quien es muy popular en Latinoamérica, tienen opiniones muy similares.

[...] En cuanto a las aplicaciones, las bombas de Hiroshima y Nagasaki fueron un signo trágico, al principio visto como accidental y fortuito, pero hoy, frente a la catástrofe ecológica y al peligro de holocausto nuclear, cada vez más aceptado como manifestación de un modo de producción de la ciencia inclinado a transformar accidentes en ocurrencias sistemáticas.

[...] La investigación capital-intensiva (basada en instrumentos caros y raros)

tornó imposible el libre acceso al equipamiento, lo que contribuyó a ensanchar la brecha, en términos de desarrollo científico y tecnológico, entre los países centrales y los países periféricos” (De Sousa Santos, 2009, p. 39).

Del mismo modo, Enrique Leff, quien ha sido muy influyente por promover ideas a favor del medio ambiente, ha culpado a la economía de mercado y neoclásica por la lastre ambiental que representa una de las más atenuantes preocupaciones de las últimas décadas. De acuerdo a Leff, “hoy percibimos la crisis de la racionalidad económica sobre la cual se ha construido la civilización moderna”; y en relación a un paradigma científico ha opinado que “la necesidad de entender el ambiente como un sistema complejo, confronta al positivismo lógico en su búsqueda de unidad del conocimiento y uniformidad del saber”. Sin embargo, al desarrollar sus ideas sobre los motivos y razones sobre la degradación ambiental a causa del actual sistema económico, este autor elabora explicaciones como la siguiente:

“El Edipo, como ley constitutiva de la cultura, como ley de prohibición del incesto, como norma de consanguinidad y condición de sobrevivencia y convivencia, ha sido internalizada (aunque transgredida como toda ley) por la humanidad; en tanto que la entropía como límite y condición de sustentabilidad es negada y pervertida por el discurso del crecimiento sostenible. Se abre allí la diferencia entre la prohibición y el límite absoluto entre la muerte que como límite significa a la vida y la relanza hacia los imaginarios de la reencarnación, al más allá, al reino de los cielos y de los infiernos), y la muerte entrópica del planeta, que cuestiona los fundamentos ideológicos del crecimiento y el progreso, sin haber encontrado aún las vías para reconducir la significación de la vida dentro de una nueva economía” (1998, p. 104).

Es evidente que personajes como éstos están preocupados por situaciones extremadamente inconvenientes que atentan contra el bienestar de la sociedad; son varios los problemas que pueden enunciarse por la manera en la que se conducen los sistemas económicos de la actualidad así como el impacto que tienen éstos en el medio ambiente. Sin embargo, con explicaciones como la de Leff y la de personajes con estilos e ideologías similares, ¿qué es lo que se busca conseguir? ¿Cómo es que arremeter contra una concepción de ciencia, ya de por sí anticuada y fuera de lugar, va a contribuir con la ralentización del calentamiento

global? ¿Cómo es que un conjunto de impecables y muy retóricos ensayos literarios van a modificar el sistema de incentivos de la banca? O ¿cómo es que se generarán nuevos sistemas de producción y nuevos mercados para fuentes de energías renovables, si los intelectuales de las ciencias sociales concentran gran parte de sus esfuerzos en la confección de aforismos y “propuestas epistemológicas” que basan su fundamento en el antagonismo y el escepticismo?

Con esto no es que se busque desestimar la genuina preocupación de algunos autores en relación a problemas reales. Sin embargo, dado que aquellos problemas de los que hablan son tan reales y tan graves que no se puede escatimar promoviendo ideas poco prácticas que, aparentemente, sólo buscan articular pensamientos a través de cierta estética argumentativa y un lenguaje obscuro pero estilizado.

Si bien, mucho de lo que la economía neoclásica y analítica ha promovido es un lenguaje meramente matemático, “claro” y lógico como una manera convincente para estudiar fenómenos sociales; muchos han reaccionado de un modo completamente opuesto, que es incluso reacio e inexcusable hacia cualquier cosa que parezca aludir a la lógica, las matemáticas o cualquier cosa que suene ligeramente técnica. Esto se da de tal modo que, en vez de promover diversidad, pluralidad y métodos mixtos para abordar problemáticas complejas mediante estudios multidisciplinarios, se reniega enteramente de ciertas formas y perspectivas. Con relación a esto, Boaventura de Sousa Santos opina que:

“El rigor científico, al estar fundado en un rigor matemático, es un rigor que cuantifica y que, al cuantificar, lo que hace es descualificar (*sic*), se trata de un rigor que, al objetivizar los fenómenos, los objetualiza y los degrada, que, al caracterizar los fenómenos, los caricaturiza. Es, en suma y finalmente, una forma de rigor que, al afirmar la personalidad del científico, destruye la personalidad de la naturaleza [...] la intervención tecnológica esconde los límites de nuestra comprensión del mundo y reprime la pregunta por el valor” (De Sousa Santos, 2009, p. 37).

De modo parecido, Enrique Leff dice que:

“Las matemáticas podrán permitir articular los campos formalizables de las

ciencias, pero no podrán establecer los vínculos y el diálogo entre los conocimientos y los saberes que conforman el campo de la racionalidad ambiental” (Leff, 1998, p, 147).

Eduardo Gudynas, otro autor que sostiene ideas similares a las de Leff y a las de Boaventura de Sousa Santos, escribe:

“En muchos casos el término ecosistema reemplazó al de Naturaleza. Desde ese punto de partida se pudo aplicar a la Naturaleza un lenguaje matemático, diseccionándola en sus elementos y estudiando sus vinculaciones. Por eso, [...] el concepto de ecosistema es manipulativo, en contraste con otro que pudiese ser relacional” (2004, p. 16).

Aunque sean “buenas” las intenciones de posturas como la de estos autores, de una u otra manera se ha generado la percepción de que es a través de negar algo más que nuevas perspectivas y nuevos conocimientos para enmendar problemas económicos y ambientales surgirán. Villoro, en “El pensamiento Moderno”, probablemente, describió de manera adecuada el tipo de posturas que tanto Feyerabend, Boaventura de Sousa Santos, Eduardo Gudynas, Enrique Leff y muchos otros defienden, pues podría tratarse de sólo un “descreimiento en una figura del mundo antes de ser remplazada por otra”, así como del “síntoma de una ausencia” en vez de “un pensamiento renovador”.

En contraste con lo que los autores que se mencionó anteriormente, otro crítico de posturas ortodoxas y hegemónicas como Noam Chomsky ha subestimado tajantemente al tipo de pensamiento que promueve el posmodernismo o posturas similares; lejos de ser una alternativa o paleativo a los problemas que estos mismos pensadores denuncian, es un rotundo agravante. Chomsky, en su obra “Año 501: La conquista continúa” escribió lo siguiente:

“Los intelectuales de izquierda tomaron una parte activa en la vívida cultura de la clase trabajadora. Algunos buscaron compensar a la clase que caracteriza a las instituciones culturales mediante programas de educación para los trabajadores en los que a través de escribir libros exitosos sobre matemáticas, ciencia y otros tópicos para el público en general. Notablemente, sus contrapartes de izquierda, hoy usualmente buscan privar a la clase trabajadora de estas herramientas de

emancipación al informarnos que el proyecto del renacimiento está muerto, que debemos de abandonar las ilusiones de la ciencia y de la racionalidad; éste es un mensaje que alegra a los corazones de los poderosos encantados por monopolizar estos instrumentos para su propio uso” (1993, p. 286).

En relación a esto ¿qué pasaría si todo mundo hiciese caso al hecho de que las matemáticas y la ciencia son una ilusión? Si fuese ése el caso, nadie podría revelar que algunos estudios como los de Reinhart y Rogoff están basados en análisis incorrectos y que la implementación de políticas de austeridad en Europa pueden no sólo estar basados en falsas conclusiones, sino que estas políticas pueden resultar perjudiciales. O, a propósito de la discusión sobre la degradación ambiental, si no hay maneras para conocer y evidenciar que algunas compañías automovilísticas, como el caso de Volkswagen en 2015, han intencionalmente alterado sus motores de diésel para que, cuando los automóviles sean sometidos a pruebas, un programa se active y modifique las emisiones de óxidos de nitrógeno (Hebert, 2015; *Volkswagen Light Duty Diesel Vehicle Violations for Model Years 2009-2016*, 2016).

¿Cómo entonces se podría regular y observar que las compañías no contaminen el aire a niveles exagerados? Ante esto podría extenderse aún más la actitud anti-ciencia y argumentar que “las emisiones de óxidos de nitrógeno no existen” o que las enfermedades que estas emisiones pueden provocar tampoco existen. Para el caso de Volkswagen, se ha estimado que los motores de los automóviles generan 40 veces más emisiones contaminantes que lo que algunas regulaciones indican, y que hay alrededor de 11 millones de vehículos modificados alrededor del mundo (Chapell, 2015).

¿Qué rol juega una “epistemología del sur” o una “racionalidad ambiental” ante este tipo de problemas que son graves y reales? Si estas posturas argumentan, como Gudynas, que la ciencia y las matemáticas son una herramienta de manipulación y dominación, evadirlas y negarlas no evitará que dichas herramientas se sigan utilizando con tales propósitos, sino que fomentará la incapacidad para conocer cómo es que a uno lo están dominando ¿Tienen estas posturas la capacidad de afrontar la realidad o es ése precisamente su reto?

Probablemente el ímpetu por oponerse al pensamiento del renacimiento y de la

modernidad, así como cuestionar los principios epistemológicos de la ciencia “eurocéntrica” y “manipulativa” suene, para algunos, como un mensaje convincente y emancipador hacia los pueblos y sectores de la población más desprotegidos. Aunque, por otro lado, tal vez esto sólo se trata de un intento por asegurar la posición de “intelectuales de marca” en un ámbito en el que cuestionar “la verdad”, y sobre todo a la “gran verdad” que otros grandes intelectuales históricos como Galileo, Johannes Kepler y Newton han descubierto, lo convierta, *ipso facto*, a uno en un revelador filósofo contemporáneo y portador, por lo tanto, de la “nueva verdad”.

Todo esto se da gracias al uso de un lenguaje ofusco, una gran capacidad de convencimiento y el atrevimiento a cuestionar y argumentar a través de “un conjunto de prácticas críticas, estratégicas y retóricas”. ¿No fue acaso un término como el de “sofista” el que se le asignó a personas que empleaban técnicas similares en otras épocas?

1.7 Obscurantismo e imposturas intelectuales: ¿influencias artísticas en las ideas económicas?

El filósofo del lenguaje, John Searle, durante una de sus cátedras contó una anécdota en relación al tipo de lenguaje que otros filósofos premeditadamente deciden utilizar (Springer, 2013). En específico, la anécdota hacía alusión a la amistad que mantuvo con Michael Foucault y Pierre Bourdieu y que, a raíz de esta amistad, en alguna ocasión tuvo la oportunidad de preguntarle a ambos “¿por qué escribes tan mal?”; con esto Searle hacía referencia al premeditado acto de escribir filosofía con un tono obscuro y rebuscado. Según Searle; Foucault, en un destello de honestidad, le respondió “si yo escribiera tan claramente como tú lo haces la gente en París no me tomaría en serio; piensan que es infantil, ingenuo.”

Searle confiesa que cuando Foucault dio clases en Berkeley era completamente claro y su estilo era completamente diferente al que empleaba en la mayoría de sus obras y demás apariciones, pero en lugares como Francia ha sido necesario mantener cierto grado de incomprensibilidad para aparentar un pensamiento “profundo”. De acuerdo con Searle,

cuando él estuvo impartiendo algunas clases en el *Collège de France*, Pierre Bordieu confesó algo similar.

Asimismo, en una entrevista realizada a Searle en el año 2000 (Postrel & Feser, 2000), el filósofo narró otra conversación que tuvo con Michel Foucault en la que ambos filósofos discutieron el estilo y pensamiento de Jaques Derrida. John Searle narró que Foucault se refirió a Derrida, tal vez con algo de ironía, como alguien que practicaba el “obscurantismo terrorista”. De acuerdo a la conversación, Foucault, sobre Derrida, dijo que “él escribe tan obscuramente que no puedes saber lo que está diciendo, ésa es la parte obscurantista; y cuando lo criticas, él siempre puede decir 'tú no me entendiste; eres un idiota'. Ésa es la parte terrorista”. ¿Es posible que suceda algo similar con algunos pensadores latinoamericanos?

En relación al posmodernismo o cualquier postura similar que abogue por un uso de lenguaje intrincado y un ávido escepticismo hacia cualquier noción de ciencia; Alan Sokal, un físico estadounidense, puso en verdaderos aprietos la credibilidad de cualquier adscrito a esta corriente. En 1994, el *journal* posmoderno *Social Text* auspiciado por la universidad de Duke publicó un artículo titulado “Transgrediendo los límites: Hacia una hermenéutica transformativa de la gravedad cuántica” (1994), el autor era el mismo Alan Sokal. Este artículo citaba a intelectuales de renombre como Boaventura de Sousa Santos, Jaques Derrida, Paul Feyerabend, Jean-Fraçois Lyotard, Edgar Morin, entre muchos otros. El artículo de Sokal está lleno de aseveraciones que enuncian que “la física cuántica es profundamente consonante con la epistemología posmoderna”, que “una ciencia liberadora no puede estar completa sin una profunda revisión del canon de las matemáticas” y que “el contenido y metodología de la ciencia posmoderna provee fundamentos intelectuales poderosos para el proyecto político progresivo”.

Después, Alan Sokal admitió que todo era un invento y que había escrito su artículo como una sátira que buscaba corroborar si era posible “publicar un artículo inflado con sinsentidos siempre y cuando (a) éste sonara bien y (b) que quedara bien con las preconcepciones ideológicas de los editores.” (1996) Sokal, en relación a su artículo, admitió que “en ningún lado hay algo que se asemeje a una secuencia lógica de

pensamiento; uno sólo encuentra citas de autoridad, juegos de palabras, analogías forzadas y aseveraciones valientes” (Sokal, 1996). Las razones por las que Sokal hizo esto son parecidas a lo que opinaba Chomsky, pues desde su perspectiva muchos intelectuales de izquierda estaban cayendo en una especie de demagogia poco conveniente y que este tipo de actitud era un riesgo muy grande que tomar, en específico si se trata de combatir “las mistificaciones promovidas por los poderosos”. Asimismo, el “relativismo epistémico” que se estaba dando en las humanidades y en las ciencias sociales, para Sokal, representaba una traición a la tradición de la izquierda crítica.

“El reciente giro de varios 'progresistas' o académicos humanistas de 'izquierda' y científicos sociales hacia una u otra forma de relativismo epistémico traiciona a esta valiosa herencia y socava al ya frágil prospecto de crítica social progresiva. Teorizar sobre 'la construcción social de la realidad' no nos ayudará a encontrar un tratamiento efectivo contra el SIDA o a confeccionar estrategias para prevenir el calentamiento global. Tampoco podremos combatir ideas falsas en la historia, la sociología, la economía y la política si rechazamos las nociones de verdad y falsedad.

[...] Al final utilice la parodia por una simple razón pragmática. Los objetivos de mi crítica ahora son un subcultura académica que se auto-perpetúa y que típicamente ignora (o desdeña) las razonadas críticas del mundo externo. En dicha situación, una más directa demostración de los estándares intelectuales era requerido. ¿Pero cómo puede uno mostrar que el emperador no tiene ropa?” (Sokal, 1996).

El problema con posturas como el “relativismo epistémico” y el “anarquismo epistemológico” es que todo puede ser. No importa cuántos esfuerzos se inviertan o se hayan invertido en tratar de entender algún fenómeno pues éstos esfuerzos, de acuerdo a la perspectiva de pensadores como Gudyneas; Leff; Boaventura de Sousa Santos o Feyerabend, pueden ser una mera construcción social de los “científicos”.

Si simplemente se critica la noción de “verdad” y se pone en tensión que toda verdad estudiada puede simplemente no ser, entonces ¿qué es verdad? ¿Es verdad que la verdad no existe? Si es verdad que la verdad no existe, entonces inmediatamente se cae en contradicciones, sinsentidos y actitudes hipócritas. Si una actitud posmoderna trata de

poner en jaque que algo puede ser verdad, entonces inmediatamente puede dudarse de que ellos estén diciendo la verdad; y empieza entonces en un juego de palabras, y de ver qué palabra o la de quién es la que vale más. He ahí la preocupación externada por personajes como Chomsky o Sokal, pues si la campaña por conocer y resolver problemas sociales cae en un juego de “imposturas intelectuales” o simplemente se duda de la existencia de ciertas cosas ¿cómo proponer alternativas y soluciones a problemas reales?

En el fondo, reconociendo que existen problemas sociales y económicos en la actualidad, “algunas alternativas al desarrollo económico y social” no parecen ser más que la argumentación basada en una superioridad moral y en un ejercicio literario que consiste en un manejo del discurso que raya en lo artístico. Hacer filosofía o epistemología puede terminar siendo algo muy contrario a la generación de ideas o conocimientos aplicables; el riesgo es que estas disciplinas terminen por convertirse en la mera elaboración de frases y enunciados que “suenan bien”.

De modo muy parecido se encuentra la opinión de John Wilkins, un filósofo de la ciencia quien descende de la escuela de Fayerabend, pero que no coincide con ella. Wilkins al opinar sobre las ideas de Fayerabend dijo que:

“Se trata en parte de la presunción de los filósofos por tener interpretaciones exclusivas del mundo que simplemente no se traslapan con la de otros [...] Puede que no exista un método científico acordado pero estamos lidiando con prácticamente la misma parte del mundo y nuestros compromisos conceptuales realmente no interfieren con ello” (Ford, 2014).

En el ámbito de la economía, tanto para el caso de la ortodoxia neoclásica y macroeconómica como para el el caso de los pensadores posmodernos, anti-científicos o anti-mercado, se puede estar dando el mismo problema. Ambas posturas tratan de construir una relación con la realidad de una manera inadecuada; cada una desde su trinchera se abstiene de la observación y de la experimentación, adentrándose en una lógica en la que “las cosas ya están dadas” o “no hay nada que se pueda hacer”.

Este puede ser un riesgo que, sobre todo, atenta contra el quehacer y práctica de la ciencia y de cualquier propuesta epistemológica. Hugo Zemelman lo enfatiza en su ensayo titulado

“Pensar teórico y pensar epistémico: Los retos de las ciencias sociales Latinoamericanas”. De acuerdo a este pensador, es posible que se dé un desajuste entre el uso del lenguaje y la realidad a la que estamos expuestos, y por lo tanto:

“Al no tomar en cuenta esta dificultad en la formación de los científicos sociales, corremos el riesgo de que ellos estén pensando ficticiamente, es decir, que – aun cuando existan excepciones- estén pensando sobre realidades inventadas. Tan simple como eso” (Zemelman, s.f., p. 2).

Del mismo modo, Zemelman recomienda prestar atención a las técnicas, pues puede caerse en la trampa de seguir cierto estilo o ciertos pasos simplemente porque están ahí y pueden usarse sin cuestionarse; esto puede suceder no sólo en relación a las matemáticas como con el caso del cálculo infinitesimal en la economía neoclásica, sino también puede suceder con el uso de estrategias retóricas del discurso en el posmodernismo y en la anti-ciencia.

En América Latina ha sido común que los literatos sean considerados como “los intelectuales” cuya opinión no sólo es pertinente en su área, sino también en el área de la política, de la sociedad y de la economía. Desde la década de los sesenta al haberse dado el “boom latinoamericano” de grandes escritores cuyos nombres y obras son ampliamente reconocidas hasta el momento, la opinión de muchos escritores como Mario Vargas Llosa, Gabriel García Márquez y Octavio Paz ha sido sumamente influyente para la percepción del público en general. Sin embargo, la fórmula de un artista e intelectual de izquierda o derecha, si bien, puede ser convincente para muchos, ésta difícilmente podrá por sí misma generar alternativas para problemas financieros, ambientales o de distribución de la riqueza.

De acuerdo con esto está el escritor y analista literario mexicano Jorge Volpi. Mucha de la percepción como “intelectuales y críticos” alrededor de personajes sobresalientes como Jaques Derrida y Jean-Francois Lyotard, así como Gudynas, Leff y Boaventura Sousa de Santos, cuya labor ha sido principalmente la de la filosofía, la crítica literaria y la crítica social; ha sido lo que los ha posicionado como pensadores con cierta capacidad para influenciar la opinión pública. En relación a esto, Volpi opina que (2011):

“Se sigue esperando esa imagen del intelectual latinoamericano como Vargas

Llosa o como Fuentes que son capaces de opinar de todo, hay quien efectivamente lo logra pero también, muchas veces, se trata simplemente de esa expectativa de que alguien que tiene mayor conocimiento, mayor experiencia o una voz puede explicar acontecimientos que, en realidad, escapan a (sic) su control [...] Desde la generación del "boom" que fue eminentemente política, cada vez, los escritores latinoamericanos (están menos comprometidos políticamente, o cada vez menos actúan como) voceros de, o conciencias de América Latina que lo siguen siendo hasta la fecha Fuentes o Vargas Llosa [...] Yo creo que los escritores de las generaciones siguientes ya no pueden ocupar ese espacio y muchos han decidido ya no ocuparlo.”

1.8 La ciencia y tecnología como una práctica, no una doctrina

Mucha de la crítica hacia la ciencia y hacia la tecnología que ha emanado desde un quehacer literario y retórico no sólo está limitada por ser, en la mayoría de los casos, un mero ejercicio literario. También puede que suceda lo que Zemelman señala, pues es fácil convencer a través del lenguaje que el verdadero problema en relación a algo es aquello que resulta más evidente, y si las personas que cuentan con aquel estatus de “voceros intelectuales”, sean políticos o artistas, convencen a través de sus letras y sus discursos, entonces poco espacio habrá para la experimentación y el ejercicio de la creatividad de las personas comprometidas con la investigación económica y tecnológica con pertinencia en cuestiones sociales y ambientales.

Pensar en la ciencia como una masa homogénea, un fundamentalismo o una especie de esencia es como pensar que toda la gente de proveniente de Colombia está involucrada en actividades relacionadas al narcotráfico o que todos las personas de Jamaica, por su condición de jamaicanos, cantan *reggae*. Al evocar la palabra "ciencia", muchas personas pueden evocar significados distintos; por nombrar algunos ejemplos, puede que uno se refiera a la comunidad científica de un lugar y época en específico, puede ser la curiosidad e ímpetu por hacerse preguntas para intentar responderlas, o puede tratarse de los avances tecnológicos de cierto momento. Sin embargo, parece ser que varias personalidades de renombre han conseguido convencer a muchas personas de que algunas palabras como

“ciencia”, “tecnología” o “matemáticas” tienen un significado fijo e inamovible.

Este tipo de actitud hace pensar que, cuando se escucha algún término de éstos, se está entonces aludiendo a una especie de doctrina o fundamento, a “los científicos” que son aquellos que hacen la “ciencia”. Y dado este carácter exclusivo y fundamentalista, no todos son “científicos” sino sólo aquellos que practican la “ciencia”. Siendo esto así, entonces es posible atribuirle una agencia a todo aquello o a todo aquel que parezca o resulte “científico”. Existe entonces una paradoja entre el significado y la agencia, es decir, ¿es que la palabra que uno escucha tiene un significado inalterable o es que el significado se atribuye por los usos y costumbres que un conjunto de personas practican?

Asimismo, a la palabra epistemología, según algunos autores cuyo estilo es parecido al posmodernismo, se le atribuye un significado que tiene que ver con la “construcción de conocimiento”. Sin embargo, por epistemología puede entenderse también la duda en relación a ¿qué es lo que podemos conocer? o ¿cómo sabemos que conocemos algo? Por lo tanto, si se “construye” una epistemología mediante el uso retórico de la palabra ¿se conoce o se convence?

En varias ocasiones a lo largo de la historia se han roto paradigmas, el inicio de una época moderna pudo haber representado uno, el descreimiento del pensamiento moderno pudo haber representado otro. Sin embargo, esto no es más que la evidencia de que los seres humanos solemos estar equivocados con respecto a nuestras propias representaciones del mundo, y si esto no se diera no habría entonces pie para poder conocer o entender cosas nuevas. Es a través de tener dudas y curiosidad que uno puede acercarse a algo que no se conocía, pero si el prejuicio es mayor a la curiosidad probablemente la tarea se torne más difícil.

A lo largo de los últimos párrafos se ha discutido sólo una de las prescripciones que Luis Villoro hizo sobre aquel pensamiento que sucedería al de la modernidad; sin embargo, se mencionó que este escritor había hablado de dos augurios. El primero ha sido la subestimación y negación de la modernidad como una forma de interpretar al mundo, pues en este periodo histórico se ha dado un control racional sobre la sociedad y naturaleza,

misma actitud que ha generado los problemas económicos y ambientales para los cuales se tienen que encontrar soluciones en la actualidad. La otra postura que describió Villoro, según sus palabras, es que después de lo moderno se da:

“Una actitud nostálgica del pasado [...] la revitalización de actitudes y creencias premodernas: retorno a creencias religiosas ancestrales, adhesión a la herencia cultural frente a las corrosiones de la razón, a las convenciones colectivas frente a las actitudes críticas, eclosión de sectas salvíficas irracionales, revaloración de formas de vida pasadas” (Villoro, 1992, p. 100).

Ante la interpretación en la que el control sobre la sociedad y la naturaleza es un rasgo exclusivo de un periodo histórico a partir del renacimiento en adelante. ¿Es esto certero o es, en aspecto, simplemente convincente?

Esto querría decir que, antes del renacimiento en Europa, los seres humanos no alteraban violentamente al entorno, y que éstos no practicaban nada parecido a las matemáticas. Entonces, si por alguna razón se practica algo parecido a ello en regiones no europeas como Asia, África o Latinoamérica tendría que ser por la conquista europea en estas regiones ¿cierto? Y por lo tanto, si el término “epistemología”, según el posmodernismo, se relaciona con la construcción de conocimiento, ¿la tecnología y las matemáticas como se conocen ahora no son más que el producto de la construcción particular de cierto contexto cultural?

Algunos autores, así como se ha hablado de post-modernidad, también han hablado de “post-colonialismo”; sin embargo, estas posturas son tendenciosas a generalizar a Europa como una región homogénea, así como se ha generalizado a las nociones de ciencia, matemáticas y tecnología. La lógica en la que se razona este tipo de argumentación es muy parecida a decir “cada vez que llueve el piso se moja; ahora el piso está mojado, entonces la causa es que llovió”. En otras palabras, algunas cosas suenan como argumentos válidos, pero no necesariamente son verdad.

De hecho, muchas investigaciones y estudios han insinuado que tanto culturas y civilizaciones anteriores al renacimiento que habitaron regiones distintas a Europa tenían conocimientos matemáticos bastante elaborados, y conocían muchas cosas que ahora

clasificaríamos como ciencia. Asimismo, el deterioro ambiental no es un producto del tipo de sistema económico que se ha gestado en la modernidad.

Muchas investigaciones han reflejado que la preocupación eminente por la degradación del ambiente no es algo que pueda atribuirse a alguna “cultura” en específico, sino que el impacto ambiental es más bien un rasgo de la especie humana *per se*; por lo tanto, “no porque el piso esté mojado quiere decir que llovió”. Hugo Zemelman, en su crítica al quehacer de las ciencias sociales en Latinoamérica ha dicho:

“[...] la realidad está siempre dentro y fuera de los límites del conocimiento, sea dominante o no. Por lo tanto, para poder reconocer esa realidad que está fuera de los límites de lo que se dice que es lo real en el plano de la economía, en el plano de los sistemas políticos, etcétera, necesitamos aplicar un razonamiento mucho más profundo, que rompa con los estereotipos, con los pre-conceptos, con lo evidente” (Zemelman, s.f., p 17).

II. Tecnología y sustentabilidad en los sistemas económicos: La incidencia de los objetos, la información, la energía y la cultura

En este capítulo se argumenta que la concepción de naturaleza que se comparte en posturas y trabajos post-modernos es inadecuada para atender y enmendar la presión ambiental que ejercen las sociedades humanas. Del mismo modo, se pone en tensión el mismo concepto de naturaleza que ofrece la mirada post-moderna para argüir que ésta suele basar su análisis en la idea de que ciertas culturas y modos de vida son, en esencia, más amigables con la naturaleza. En este capítulo se sostiene que el impacto ambiental de las sociedades humanas debe de entenderse como el impacto que tiene una especie invasiva en otro ecosistema y se argumenta que esta situación pudo darse por el surgimiento de la cultura, por ello, se ofrece una conceptualización de este término que se apoya de una mirada biológica y evolutiva. En este sentido, el surgimiento de un sistema económico puede interpretarse como un aspecto cultural de la especie humana, una economía es, por lo tanto, el medio a través del cual las sociedades humanas consiguen su supervivencia pero esto no quiere decir que una economía sea per se sustentable.

En este capítulo se profundiza en cómo algunos aspectos de la sociedad humana como el uso de objetos, energía e información han contribuido a la formación de sistemas económicos. La discusión de este apartado conduce a definir al desarrollo económico como una modificación de modos de producción y consumo por la necesidad de adaptarse a los problemas ambientales que las sociedades humanas enfrentan en la actualidad para lo cual resulta útil el concepto de evolución por selección cultural.

II.1 ¿Qué es tecnología?

La palabra tecnología puede ser motivo de controversia. Como se ha visto en capítulos anteriores, este término, en ocasiones, se ha interpretado como el resultado del quehacer científico; y a éste último como un producto cultural de sociedades occidentales que, en esencia, atenta contra la naturaleza y contra otras sociedades. Sin embargo, la interpretación

de la palabra tecnología como algo rígidamente asociado con lo que se mencionó anteriormente, podría tratarse de una interpretación cultural de algunos grupos de ciertas sociedades que, por cuestiones históricas, fomentan y perpetúan, hasta la fecha, un antagonismo generalizado hacia lo científico, lo tecnológico y lo occidental.

La tecnología, sin embargo, es algo mucho más antiguo que aquello que puede ser entendido como “eurocéntrico” o exclusivo de Occidente. Antes de la conquista de imperios europeos en otros continentes e incluso antes de que se desarrollaran las matemáticas modernas en Europa, la especie humana ha generado diversas fuentes tecnológicas. El impacto de estas fuentes ha sido sumamente importante para el desarrollo de las sociedades humanas tal y como las conocemos ahora, sean éstas urbanas o rurales. La tecnología, por lo tanto, se refiere a un conjunto de técnicas y procesos que modifican el estilo de vida de una sociedad; esta alteración puede, en general, tener efectos tanto positivos como negativos, dependiendo de quién juzgue.

Asimismo, vivir en sociedad, como lo hacemos los seres humanos, involucra la confección de métodos y estilos para satisfacer necesidades. Es por ello que la mera concepción de un sistema económico, sea éste intencionalmente diseñado o no, es uno de tantos atributos tecnológicos de la especie humana. Y la mera noción de una economía, entendida como lo que surge en sociedad para administrarse en oposición a la “economía” como una ciencia o disciplina, tiene un impacto en la sociedad y en el entorno.

En las últimas décadas, se ha vuelto común y repetitivo hablar del medio ambiente. Ésta es una genuina preocupación; pues, indudablemente, el impacto del *modus vivendi* humano ha sido demasiado fuerte como para ignorar la discusión. Sin embargo, al no siempre tener una medida inmediata sobre cómo es que el impacto se ha hecho y cómo se está ejerciendo en la actualidad, todo tipo de interpretación y subestimación puede surgir, desde la incredulidad hacia cuestiones relacionadas al cambio climático y hacia una posible crisis energética, hasta posturas que defienden a la naturaleza como un “ente” con derechos, mismas que pueden arremeter contra otras concepciones culturales o instituciones que no compartan esa ideología.

Pero, ¿a qué se refiere uno cuando se habla de la naturaleza? En ocasiones se usa el término como si lo natural estuviera dado, y como si por hablar de ello quedara implícito que se trata de algo sagrado, hacia lo cual no todas las culturas comparten el respeto y veneración que “se debe”; y que, por lo tanto, es en esa actitud “desdeñosa” donde, algunos pensarían, radica “gran parte del problema”. Aunque al mismo tiempo, los problemas ambientales, son reales y, probablemente, más grandes y atenuantes de lo que a simple vista podrían parecer. Excluir a la tecnología como parte de tentativas soluciones para atender problemas ambientales generados por sociedades humanas, representa un lujo muy grande aun cuando esto suene contradictorio para algunas ideologías. Escatimar en todo tipo de propuesta puede resultar muy costoso si sólo se pretende ser políticamente correctos con la particular interpretación de la naturaleza que acogen algunos.

II.2 ¿Qué es lo natural?

En relación a la modernidad, algunos autores como Eduardo Gudynas han externado que tan sólo el término “ecosistema” es manipulativo, y que podrían usarse, en vez, otros términos como el de “naturaleza” pues éste es más “relacional”. Otros como Edgardo Lander (2000) hablan de una condición general que ha contribuido a estos problemas, y esta condición es la del “eurocentrismo”, pues muchos de los conocimientos adquiridos durante el renacimiento, como las matemáticas y otras ciencias exactas, se dieron en Europa.

Este tipo de ideas, hasta cierto grado, han adquirido mucha popularidad en lugares como América Latina y Europa por igual, de tal modo que en muchos departamentos académicos y en muchas propuestas teóricas, hablar de la “naturaleza” y del “eurocentrismo”, aparentemente, constituye una “nueva especie de verdad”. En esta “nueva verdad”, las palabras “ciencia” y “matemáticas” tienen un significado fijo que puede rastrearse a partir de lo que sucedió en el periodo histórico de la modernidad; y por lo tanto, en un ímpetu por coaccionar la “fuente de todo mal”, todo aquello que se asemeje a lo “eurocéntrico” o al “positivismo” es digno de rechazarse.

¿Cuál es el problema con este tipo de ideas? El primero es que, así como la formación que se le otorga a los economistas incide fuertemente en la manera en la que se diseñarán y gestarán las políticas públicas que impactarán a varios; una mentalidad reacia e intolerante basada en una particular interpretación de términos como “naturaleza”, “ciencia”, “matemáticas” y “Europa” también puede engendrar una actitud intelectual intolerante, así como mermar la disposición para invertir esfuerzos en el estudio de ciertos fenómenos, así como de problemas ambientales y sus posibles soluciones. Esto adquiere relevancia sobre todo si es imperante responder a cuestiones climáticas y ambientales, y a la estrecha relación que guardan estos problemas con los sistemas económicos contemporáneos.

En otras palabras, se puede caer en actitudes tendenciosas a negar cosas como cualquier hallazgo que haya hecho Galileo Galilei o Albert Einstein simplemente porque eran europeos y su conocimiento es “eurocentrado”, como si el lugar y la cultura que los albergó fuera lo suficientemente determinante como para tener una interpretación del mundo completamente *sui géneris*, que es esencialmente proclive a la devastación ecológica y que es diametralmente opuesta a lo que harían otras culturas como, por ejemplo, las pre-hispánicas. En resumen, en algo parecido a una actitud xenofóbica, se cae en el problema del prejuicio.

Un segundo problema con estas ideas es que, al parecer, se cae en la convicción de que el entendimiento de lo “natural” y de lo “humano” se puede derivar sólo por negar la modernidad y por insistir vehementemente en el respeto por la “naturaleza”, el “medio ambiente” o “la madre Tierra”. A menudo, se cree que lo “natural” es aquella forma en la que vivían los pre-hispánicos o que “el modo correcto de interactuar con la naturaleza” es uno en el que no haya concreto, automóviles, o electricidad. De acuerdo a esta postura, es entonces el estilo de vida que lleva un campesino que se abastece de la domesticación de ganado y del trabajo agrícola sobre una modesta parcela, por defecto, “el modo más amigable y respetuoso hacia la madre Tierra”.

Estas creencias dan por sentado que tan peculiar y específica interpretación de “la naturaleza” es, en efecto, “natural”; y que ésta no ha sido, en lo absoluto, influenciada por algún grupo de pensadores en concreto, o que no ha sido inspirada por la conmovedora

imagen de un “indígena” descalzo con un semblante serio y modesto. Es común que todos caigamos en la convicción de que nuestras interpretaciones del mundo son “la verdad” y que éstas, de ninguna manera, se deben a nuestro propio contexto cultural. En resumen, dado cierto prejuicio en el modo de reaccionar ante ciertas ideas, el problema es que se cae en un sesgo ideológico.

Un tercer problema se da por el supuesto de que el uso de matemáticas y de aquello que en la actualidad reconoceríamos como tecnología es un producto específico de ciertas culturas, particularmente de las culturas europeas u occidentales. En esta actitud, no sólo se entiende a Europa y a Occidente como una masa homogénea y se ignora que en dicha región se han dado múltiples acontecimientos bélicos y movimientos independentistas; parecería también que se cree que el hecho de calcular o computar es un ímpetu exclusivo de Occidente cuando otras culturas como la de los egipcios, los babilonios o los mayas han desarrollado sistemas de medición y de contabilidad tan eficientes como los que se usan ahora. Del mismo modo, para la administración de cualquier sistema económico, sea de pequeña o grande escala, siempre se ha procurado tener algún sistema de medición y de contabilidad.

De hecho, el sistema numérico que más se usa en la actualidad, el de los números “arábigos”, no nació en Europa. Con el álgebra pasa algo similar, y es justamente este legado el que ha dado pie a muchas otras técnicas matemáticas como el uso de la estadística, la probabilidad y la programación que, al parecer, en muchas ocasiones, principalmente desde la ciencias sociales, se confunden con “positivismo” (Yu, 2003).

Lo mismo puede decirse de la ciencia, siendo que el término puede referirse a una inmensidad de tópicos sobre los cuales muchas personas están constantemente investigando, y cuyo quehacer implica la constante refutación o modificación de teorías e ideas. Parecería que se tiende a relacionar cualquier grado de tecnicismo de la química, física, biología, medicina o cualquier área como una interpretación del mundo muy particular, cuyas raíces se encuentran en las ideas que compartieron los miembros del círculo de Viena o Augusto Comte con sus contemporáneos.

Si se entiende a la ciencia y a las matemáticas como un constructo cultural de los europeos,

¿qué constituye entonces una cultura? ¿En dónde empieza o termina una? ¿Es por el uso o de ciertas técnicas y símbolos que entonces uno cae en la rama “eurocéntrica” o “positivista”, o se trata más bien de una clasificación que ha emanado de la opinión e interpretación de sólo algunos cuantos? Al parecer, se cae en otro problema, el cual implica pensar en los “mexicas” como si se tratara de una esencia que puede entenderse y distinguirse de otra como podría ser la “esencia tolteca” o la “europea”. En resumen, se cae en un problema de generalización de conceptos.

Si de modo contrario a las actitudes mencionadas anteriormente, se hace entonces a un lado la actitud xenofóbica y el favoritismo étnico, la intolerancia hacia ciertas “construcciones epistemológicas” y la fijación hacia ciertos significados en relación a palabras como lo “natural” y lo “humano”; podría entonces proponerse interpretar la condición humana de un modo menos especial y folclórico. Los seres humanos, por lo tanto, somos una especie de mamíferos que ha interactuado con el entorno y con otras especies animales desde hace miles de años.

Nuestra especie tiene la capacidad de organizarse, moldear el entorno y domesticar a otras especies. Son tan complejas nuestras habilidades de interacción que podemos “crear culturas” y sistemas de creencias, somos capaces de sistematizar la producción de alimentos e intercambiar objetos bajo esquemas sumamente diversos y podemos cooperar, aunque la cooperación no siempre termine en algo que clasificaríamos como algo “bueno” o “correcto”.

Es precisamente por las tan intrincadas maneras de cooperar que puede hablarse de sistemas económicos; éste es un rasgo distintivo de nuestra especie y a lo largo del tiempo se ha manifestado de múltiples maneras. No obstante, existen ciertos rasgos que pueden enfatizarse, como son el hecho de que se da el intercambio, los sistemas financieros y fiduciarios, y que la producción de bienes y servicios repercute en la transformación tanto de objetos como del espacio mismo; y, para ello, se requiere de alguna fuente de energía.

Dado que un sistema económico implica una dinámica compleja, en la que se dan múltiples tipos de interacciones y de transformaciones, es que cobra relevancia hablar de la

sustentabilidad de éstos; y por sustentabilidad se hace referencia a la capacidad del sistema por mantenerse a lo largo del tiempo. En términos de la sustentabilidad de un sistema bancario, es insostenible el crecimiento económico y la distribución de la riqueza si el tipo de dinámica es muy parecida a la que dio pie al colapso hipotecario de 2008. En términos ambientales, la preocupación se torna un tanto distinta, pues desde antes de “la época moderna”, el impacto de los seres humanos en el medio ambiente ha sido sumamente devastador.

Si el enfoque de una economía se cambia de una mirada mecánica o xenofóbica a una parecida a la biológica, podría interpretarse a los humanos como, literalmente, una especie de simios cuya supervivencia se da a través de la creación de sistemas económicos y cuyos hábitats son las ciudades. La pregunta es si el modo en el que se han pensado y edificado tanto las “economías” como las ciudades es sostenible no sólo con respecto a otras especies, sino con la misma especie humana. El debate sigue abierto.

En el capítulo anterior se mencionó que un rasgo distintivo de algunas de las reacciones hacia la “economía” ortodoxa ha sido abogar, aunque sea implícitamente, por una superioridad moral. Dentro de este tipo de razonamiento es entonces convincente hablar del daño que unos causan a otros; e incluso, desde la ortodoxia neoclásica se intenta hablar de “externalidades positivas y negativas”, y de cómo ajustar mecanismos de mercado que compensen dichas externalidades, sobre todo en el caso de efectos negativos. No obstante, gran parte de la argumentación parece haberse basado en el daño que han hecho los miembros de una cultura a los miembros de otra, como hablar de un imperialismo estadounidense en el resto del mundo o como hablar de la colonización europea ya sea en África o en el continente americano.

No es que se pretenda eximir a algunas personas por lo que pretendieron o detonaron en algunos contextos históricos específicos; lo que sí se pretende remarcar es que la especie humana, en general, es culpable por haber causado impactos ambientales irreversibles desde antes de la invención de los estados-naciones y sus límites territoriales, desde antes de cualquier concepción sobre lo que pueda representar la ciencia y, por supuesto, desde mucho antes de la época moderna. ¿Es entonces algo exclusivamente moderno o

eurocéntrico el dominio racional hacia la “naturaleza”?

Bajo esta interpretación, y cómo se detallará más adelante, no hay espacio para defender cierto estilo que pueda ser equivocadamente concebido como la “naturaleza humana” o “lo más amigable” con el medio ambiente; tampoco puede atribuirse la totalidad de la culpa a un grupo humano en específico. Si, por lo contrario, se hace un recuento histórico, basándose en la reconstrucción arqueológica y ambiental que se ha podido hacer desde hace varias décadas; y se concibe a los seres humanos simplemente como otra especie más, y entonces la interpretación de la, a veces cómoda y folclórica, condición humana como algo sublime y “natural” resulta difícil de sostener.

Es precisamente la condición humana la que ha provocado cierta debacle en el ambiente y en otras especies. En esta reconstrucción, se intenta no anteponer ningún juicio moral o ético en defensa de la “naturaleza” como se hace en ocasiones, pues resulta difícil concebir a ésta como una esencia a la cual se tiene que rendir pleitesía. No obstante, el medio ambiente es algo a lo cual estamos sujetos con toda la complejidad que esto implica, y nuestras muy particulares preconcepciones o interpretaciones no cambian en sí la “esencia” de nada; lo que sí impacta, y de manera contundente, es el *modus vivendi* de nuestra especie. A menudo puede resultar cómodo y convincente atribuir toda la culpa a una nación o a un conjunto de naciones, a un sistema político o a una corriente filosófica y científica en particular. Sin embargo, ésa es una idea que amerita ponerse en tensión y existen muchos recursos para hacerlo.

II.3 Diferencias hipotéticas entre lo natural y lo cultural: el fuego y los artefactos como las primeras tecnologías

Cuando se habla de la historia de la humanidad a menudo salen a relucir varios acontecimientos memorables, no muy lejanos a nuestro tiempo y que, preferentemente, son siempre dignos de recordarse. La independencia de naciones enteras, la culminación de guerras o el fallecimiento de líderes políticos e intelectuales pueden mencionarse como algunos ejemplos. Existen otros, sin embargo, cuya evidencia podría negarse aunque

actualmente se vive en una época en la que es difícil simplemente hacer la mirada a un lado y continuar discutiendo aquellos temas que resultan más placenteros.

En primer lugar, no existe una completa certidumbre que pinte con exactitud los límites de lo que puede entenderse como la natural constitución de un “ser un humano”. Evidentemente, somos los humanos “seres humanos”; pero, lejos de tratarse de una historia de ciencia ficción, existió hace muchos años otro tipo de “seres humanos” pero que por su constitución genética no eran exactamente miembros de la misma especie a la que nosotros pertenecemos^{4*}. Para referirse a la especie de la que somos parte, en la jerga zoológica se habla del género *homo* y de la especie *sapiens*, pero hace mucho tiempo existió el *homo denisovano*, el *homo florisinensis*, el *homo neanderthalensis* y otros. Actualmente, los *sapiens*, a su vez, pertenecen a familia de los homínidos, en esta familia están también los gorilas, los orangutanes, así como las especies genéticamente más parecidas a los humanos contemporáneos, los bonobos y los chimpancés (Harari, 2014).

No nos gusta pensar en nuestra clase como una más dentro de la gran clasificación de los primates o de los grandes simios pues, por supuesto, “somos especiales”. Podemos comunicarnos, vivir en sociedades, conquistar territorios enteros y podemos ser sumamente afectuosos; tal y como otras especies de mamíferos.

Probablemente, dentro de todo el reino animal la especie *sapiens* sea una de las criaturas más violentas y territoriales que jamás haya existido, y si bien, nos gusta pensar en nuestra especie como el nido de filósofos, literatos y artistas; no obstante, por más simples e insignificantes que puedan parecer nuestros primeros y más primitivos establecimientos, éstos llevaron a la desaparición irreversible de la biodiversidad de aquellos momentos, así como a la violenta alteración de ecosistemas enteros. Hacer un recuento de la historia de la humanidad desde sus más recónditos principios hace que la preocupación por el “desarrollo sustentable” que se apoya por varios organismos internacionales se aprecie un tanto tardía,

4 Aún está abierto el debate en relación a qué tanto el *homo sapiens* se mezcló con otras especies de homínidos, pues los seres humanos en la actualidad llevan en su genotipo algunos genes que pertenecieron al *homo neanderthalensis* y al *homo denisovano*. En cuanto a por qué desaparecieron estas especies, la discusión también sigue inconclusa pues el *homo sapiens* pudo haber intervenido directa o indirectamente en su extinción.

y hace que la lucha política para erradicar el maíz transgénico en México para evitar la pérdida de biodiversidad parezca un poco ingenua.

El *homo sapiens*, apareció como el producto de la evolución por selección natural hace aproximadamente 150 mil años; desde aquel entonces, en el este de África, ya existían personas que se veían y se comportaban igual que nosotros (Harari, 2014). Pero desde hace 3.3 millones de años existe evidencia de que existieron criaturas que confeccionaban artefactos a base de piedras (McPherron *et al.*, 2010; Harmand *et al.*, 2015), siendo una de las primeras exhibiciones del trabajo homínido y de la transformación de objetos.

Se cree que los homínidos habían sido criaturas cuyo estatus yacía en el extremo fondo de la cadena alimenticia, y que así como algunas aves han desarrollado picos para extraer insectos de los orificios en los troncos de los árboles, los homínidos se habían adaptado y especializado para confeccionar herramientas de piedra que les ayudaría a alimentarse.

En un entorno adverso como la estepa o sabana africana, con muchos otros mamíferos compitiendo por recursos; si un felino llegase a cazar a un antílope, o a algo parecido, un grupo de homínidos tendrían que esperar su turno después de que otros depredadores y carroñeros se alimentaran. ¿Y entonces qué uso tendrían las piedras labradas? Ante los restos de un cadáver, poco quedaría para poder alimentarse, por lo que para extraer la médula ósea del esqueleto las herramientas ayudarían a poder abrir los huesos y así nutrirse de la médula ósea. A pesar de contar con una gran capacidad intelectual y estructuras sociales complejas, por aproximadamente dos millones de años, los homínidos sobrevivieron recolectando pequeños frutos, cazando pequeños animales y comiendo carroña. No fue, tal vez, hasta hace 400 mil años que se sabe que se empezó a cazar a otros animales de mayor tamaño y de modo sistemático. Y hasta hace 100 mil es que la especie de los *sapiens*, nuestra especie, asciende hasta la cima de la cadena alimenticia (Harari, 2014).

¿Cómo pudo nuestra especie, que surgió de criaturas que sobrevivían de carroña, convertirse, en unos cuantos miles de años, en el principal depredador? y ¿cómo es que un simio indefenso consigue pasar del fondo de la cadena alimenticia a su extremo opuesto?

Éstas, por supuesto, representan preguntas complejas que imponen, a su vez, respuestas complejas. Mucho ha sido el escrutinio invertido por académicos e investigadores y, hasta el momento, algunas de las explicaciones más plausibles señalan que, entre muchos otros factores, la confección de herramientas, la dieta, la extracción de energía a través del fuego y la capacidad de lenguaje jugaron un rol sustancial.

Curiosamente, la especie *sapiens* no es la única que puede construir herramientas y, por lo tanto, modificar el espacio. Los castores pueden construir presas, las hormigas colonias hormigueras, las abejas panales, las arañas tejen redes enteras y tanto los chimpancés como los bonobos pueden confeccionar lanzas y utilizar piedras como martillos.

Puede que sea fácil interpretar que algunas de las herramientas más complejas del paleolítico, como algunas piedras en las que se aprecia una notable simetría y que fueron sistemáticamente labradas, han forzosamente tenido que surgir como el resultado de cierto contexto cultural en el que la transmisión de conocimiento sobre cómo confeccionar dichos artefactos tuvo que ser aprendido, ya sea través de la enseñanza premeditada o a través de la imitación.

Sin embargo, algunos investigadores han cuestionado que este sea el caso; por lo tanto, la primitiva industria del paleolítico puede tratarse de un comportamiento latente en la especie. Así como las arañas no se reúnen en conjunto para enseñar a sus semejantes cómo tejer una telaraña, tampoco los homínidos lo hicieron para hacer una filosa hacha de mano (Tennie, Braun, Premo, & McPherron, 2016). Por más compleja que parezca una herramienta homínida, al observar una telaraña también puede apreciarse una gran simetría e incluso un intrincado patrón de geometría fractal; sin embargo, esto no significa que las arañas sean capaces de crear una cultura o de transmitirse tradiciones entre ellas con “alta fidelidad”^{5*}.

5 El concepto de cultura es un tanto problemático. En muchas ocasiones se usa bajo una connotación que transmite una esencia o un folclor en relación a un grupo humano en específico. No obstante, el uso de la palabra que le dan los autores citados anteriormente (así como muchos otros) hace alusión a aquel comportamiento que se transmite ya sea a través de enseñanza o por imitación. Siendo éste el caso, el concepto de cultura no se limita exclusivamente al comportamiento de seres humanos modernos. En general, el término cultura como lo usan estos autores, y como se usa en este texto, hace referencia a comportamientos acumulados que requieren de una “transmisión de alta fidelidad”, sea esto a través de

Si no es exclusivo del *sapiens* la confección de herramientas ¿entonces qué es lo que lo distingue? La respuesta parece estar en la peculiar anatomía de nuestras manos. La mano de un *homo sapiens* tiene la capacidad de sujetar objetos de un modo que ningún otro simio en la actualidad puede, y que probablemente tampoco en la antigüedad. En comparación con un chimpancé, una mano humana es más musculosa, tiene el pulgar más alargado y tanto el resto de los dígitos como el tamaño de la palma son más cortos. Esto permite sujetar objetos de dos modos que pudieron haber distinguido a la especie *sapiens* de otros simios; en específico, la mano humana puede sostener garrotes y canalizar proyectiles con mucha precisión. Asimismo, el agarre de esta anatomía permite sostener con mayor precisión dos rocas que al golpearse y frotarse entre sí producen hachas más filosas y artefactos más puntiagudos (Marzke & Marzke, 2000; Napier, 1956; Young, 2002).

De acuerdo a esto, no es que haya una rigurosa planeación a la hora de confeccionar una de estas herramientas; es la anatomía de las extremidades superiores la que, naturalmente, aportó una ventaja competitiva a la hora de producir estos utensilios. A través de un proceso de selección natural se dio una especie de simios que, a pesar de la ausencia de grandes mandíbulas o de una excesiva fuerza corporal, podía fabricar armas y cooperar para, cotidianamente, cazar a mamíferos mucho más grandes y, aparentemente, más peligrosos. Parecería que, casi repentinamente, el *homo sapiens* se dio como un depredador formidable; un arma letal para otras formas de vida (Young, 2002).

Decir que la confección de herramientas sea, probablemente, un aspecto inherente a la especie en vez de un rasgo que surja culturalmente; no significa que este comportamiento sea meramente instintivo, sino todo lo contrario. Éste es un rasgo característico de criaturas notoriamente inteligentes, que pueden encontrar soluciones a problemas por sí mismos en

una enseñanza premeditada o de una imitación a base de observación. El lenguaje y la escritura de la especie *sapiens*, por ende, son mecanismos que aportan una transmisión con un elevado grado de fidelidad. Existen, sin embargo, otros comportamientos que no son culturalmente aprendidos. Estos pueden ser producto de cierto aprendizaje que se da de manera individual, sin la intervención de otros individuos o por la imitación de otro comportamiento. Muchas especies animales aprenden sin que esto implique un comportamiento cultural acumulado, es decir, no hay una tradición explícitamente transmitida. Tanto macacos capuchinos, como chimpancés y bonobos utilizan herramientas de manera individual. Asimismo, los castores cuando construyen presas con ramas, o las aves cuando hacen un nido lo hacen como un comportamiento que está inherentemente latente en lo que constituye su especie. Para una mayor profundización en esta discusión se recomienda consultar a Tennie, Braun, Premo y McPerron (2016).

vez de simplemente imitarlos, y que no requieren de un proceso relativamente sofisticado que involucre a otros para aprenderlo. Prácticamente, a partir de cierto punto en el tiempo, en cualquier homínido, la confección de herramientas de piedra se da como un comportamiento natural. Es por ello que la confección de cierto estilo de herramientas puede ser considerado como un gran salto tecnológico entre sociedades de homínidos desde hace millones de años (Lepre *et al.*, 2012); si el término tecnología^{6*} se interpreta como la capacidad de desarrollar técnicas y procesos que impactan considerablemente en cierto estilo de vida.

Después vino el fuego. Resulta complicado señalar hasta qué punto el dominio de éste responde a un comportamiento inherente a un homínido o si es algo que logró ser manipulado a través de un comportamiento cultural. Es en sí difícil determinar a simple vista si algún sitio arqueológico en el que se han hallado herramientas, huesos no humanos y objetos aparentemente quemados es evidencia suficiente del antiguo conocimiento sobre cómo usar y preservar el fuego sistemáticamente (Steven, 1989).^{7*} Existen, sin embargo, otros hallazgos que hacen pensar que a medida que los homínidos migraron hacia las latitudes del norte, el uso del fuego se tornó más estratégico y cotidiano con el fin de protegerse de bajas temperaturas, e incluso para crear otros materiales como adhesivos que servirían para ensamblar herramientas más sofisticadas (Roebroeks & Villa, 2011).

Asimismo, el fuego modificó la dieta completamente. El uso de éste para procesar alimentos pudo haberse convertido en un hábito desde hace varios miles de años; en otras palabras, el fuego permitió cocinar y alterar completamente los patrones alimenticios de la especie (Wrangham, 2009). El fuego transforma la composición química y biológica de los

6 Convencionalmente, cuando se habla de “tecnología digital” probablemente lo primero que evoca la imaginación es algo parecido a una computadora con un monitor o un teléfono con pantalla táctil. En un sentido más “estricto”, lo digital hace referencia los dígitos de las manos; desde esta perspectiva, tanto las herramientas derivadas de la industria lítica como la olduvayense o la achelense que surgieron en el paleolítico son ejemplos arcaicos de tecnología digital.

7 En algunas cuevas se ha encontrado guano de murciélago el cual tiene propiedades inflamables. El hecho de que algunas de estas cuevas presenten objetos calcinados cuyos resultados, después de técnicas de fechamiento, indican un origen dentro de un periodo entre 180 mil y 200 mil de antigüedad no significa que se hayan incendiado por la intención de algún homínido, pues pudo haber sido un incendio accidental. Algunos otros sitios han reflejado, después de pruebas de laboratorio, que algunos objetos que parecían quemados simplemente habían sido manchados por manganoso. Otros sitios muestra señales más contundentes del uso de herramientas y de fuego para cocinar.

alimentos; ayuda a matar bacterias y procesa los alimentos de maneras que no sólo los hacen más fáciles de digerir, sino que también se aprovechan más nutrientes (Richards, 2002). Algunos han insinuado que la capacidad para cocinar fue determinante para la especie humana pues, al no requerir tanta energía para la digestión, una mayor cantidad de nutrientes pudo ser destinada al cerebro, siendo esto una de las principales razones por las cuales el volumen de los cerebros homínidos aumentó considerablemente junto con su inteligencia; y a la par, los intestinos se acortaron.^{8*} (Gibbons, 2007).

El descubrimiento del fuego, por lo tanto, impactó de manera crucial no sólo al aumentar la capacidad de sobrevivencia del ser humano, sino también contribuyó a que su constitución anatómica se alterara en gran medida. El fuego es entonces una de las primeras fuentes de energía; una tecnología que permitió el desarrollo de estructuras sociales más complejas dando pie a la posibilidad de generar comportamientos culturales (Harari, 2014; Wrangham, 2009).

Pero no todo necesariamente tiene que apuntar a los rasgos evolutivos que sólo halagan a una supremacía en inteligencia, o a habilidades de subsistencia inigualables. Existen diversos motivos para creer que los primeros desastres naturales originados por homínidos, o por el *sapiens*, se dieron por el uso controlado del fuego. No sólo este recurso proporcionaba calor para contrarrestar el frío o para procesar alimentos y crear nuevos materiales; el fuego podía usarse para incendiar bosques enteros y así sólo recolectar cadáveres de animales y frutos sin tener que preocuparse por otros depredadores, o sin tener que procurar una sigilosa y estratégica cacería (Harari, 2014; Steven, 1989).

El fuego, junto con armas sofisticadas, una gran inteligencia y la capacidad de cooperar convirtió al *sapiens* en una “bomba de tiempo” para otros ecosistemas; esa fue, precisamente, la sentencia del antiguo continente australiano. Si bien, la capacidad de confeccionar herramientas puede no siempre ser interpretada como un comportamiento

8 Incluso, el consumo de médula ósea, a la cual pudo accederse desde que los homínidos confeccionaron herramientas para poder triturar huesos de animales, contiene ácidos grasos que son fundamentales para el desarrollo del cerebro (ácido cervónico y ácido araquidónico). Este tipo de información refuerza el argumento del rol que ha jugado la dieta de los homínidos en el desarrollo de su inteligencia (Richards, 2002).

cultural, difícil es decir lo mismo para la construcción de barcas y canoas. Un homínido podrá burdamente golpear dos piedras y obtener un filoso instrumento, pero difícilmente obtendrá un vehículo marítimo que le permitirá colonizar otras islas.

Construir botes y navegarlos requiere de un esfuerzo grupal y de una compleja cooperación. El *sapiens* ya se había esparcido por otros territorios antes de poblar Oceanía, pero para llegar a Australia se tenía que navegar. Asimismo, existe evidencia de que algunas islas griegas habían sido pobladas desde hace 130 mil años (Strasser *et al.*, 2010), y desde hace aproximadamente 800 mil muchos territorios en Indonesia ya habían sido poblados también (Bednarik, 1999).

Australia había sido un territorio completamente distinto. Por millones de años, la flora y fauna del lugar no habían presenciado nada parecido a las hachas de piedra y a los incendios forestales de humanos. De acuerdo a muchas investigaciones, el ecosistema australiano había atestiguado el desarrollo de una *megafauna* a través de un completo aislamiento que permitió distintos procesos de evolución por selección natural, sin la intervención de ningún tipo de homínido. Son de hace aproximadamente 45 mil años los primeros artefactos humanos; y también los restos de una gran biodiversidad que por mucho tiempo ha estado extinta (Fraser *et al.*, 2001; Miller *et al.*, 2005; Turney *et al.*, 2008).

Lo sorprendente es que en el mismo periodo de tiempo ha podido observarse lo mismo en el resto de los continentes. La evidencia para el caso australiano ha detonado muchas preocupaciones, e investigaciones similares llevadas a cabo en todas partes del mundo señalan un mismo patrón, todo apunta a que el principal responsable de extinciones masivas en los cinco continentes es el *homo sapiens*. La secuencia en todos los casos es muy similar; se descubren fósiles de una gran diversidad de especies los cuales datan millones de años, se encuentran rastros de grandes oleadas migratorias de humanos entre 45 mil y 50 mil años atrás, y durante el mismo periodo se dan extinciones masivas de megafaunas enteras sin encontrar indicios de que esto se haya dado como consecuencia de fuertes cambios climáticos (Barnosky *et al.*, 2004; Brook & Bowman, 2004; Koch & Barnosky, 2006).

Algunos tienen una mirada más indulgente con respecto a nuestra especie y, en efecto, culpan al cambio climático como la principal causa de tantas extinciones masivas (Wroe & Field, 2006); otros, no eximen a los seres humanos, sin embargo, consideran que el cambio climático también jugó un papel importante (Brault, Mysak, Matthews & Simmons, 2013). No obstante, otras investigaciones insinúan que mucho del cambio climático se debe, en gran parte, a los extremados cambios demográficos que experimentó el *homo sapiens*, pues se trata de una especie que colonizó el planeta entero y empezó a extraer y consumir recursos a un ritmo que, en aquella época, difícilmente puede ser atribuido a otra especie o algún otro acontecimiento biológico. Lo más probable es que la expansión demográfica de los seres humanos, antes de la sedentarización, se dio a expensas de la sobrevivencia de muchas otras especies y, probablemente, con varios casos de deforestación (Eriksson *et al.*, 2012).

Cualquier visión que defienda a determinadas culturas y antagonice a otras cuando se trata de “ser respetuosos con la madre naturaleza”, probablemente sea una que pasa por alto muchos detalles relevantes sobre la “condición humana”. La situación del planeta había cambiado mucho antes de la invención de la escritura y de la agricultura; muchos ecosistemas habían sido violentados y la diversidad genética se había reducido considerablemente antes de poder hablar específicamente de culturas europeas o culturas prehispánicas.

Gran parte de esto puede ser atribuido a factores tecnológicos y, hasta cierto punto, culturales como el uso del fuego y la producción de artefactos. Asimismo, esto puede considerarse como cambios radicales en los modos de subsistir, pues los sistemas económicos del *homo sapiens* han ido cambiando con él. Sin embargo, en términos biológicos, hubo otros acontecimientos que, al igual, detonaron cambios drásticos en los sistemas económicos de la especie, como la sedentarización y la domesticación.

II.4 La ilusión de un progreso en la industria agropecuaria: Una trampa tecnológica

En años recientes, ha habido un incremento en el interés por conocer a detalle el tipo de

dieta que se consumía en el paleolítico cuando las actividades para la subsistencia se basaban en la caza y en la recolección. La razón se debe a la gran cantidad de desórdenes alimenticios y de enfermedades que aquejan a los humanos en la actualidad. Este tipo de problemas no se deben únicamente al exceso de azúcar y componentes artificiales que se encuentra en la comida procesada industrialmente; las razones se remontan a miles de años atrás cuando el *sapiens* se sedentarizó y empezó a domesticar a unas cuantas especies de plantas y animales (Cordain *et al.*, 2000).

Hace aproximadamente 10 mil años, para muchos grupos humanos, el sistema económico dejó de basarse en la caza y la recolección para entonces producir comida y materiales de manera organizada. Se cree que la sedentarización, junto con la domesticación pudo haber sido una adaptación forzada ante la desaparición de muchas especies y fluctuaciones en el clima (Bowels, 2011; Richards, 2002). Esto permitió un crecimiento demográfico aún mayor, pero se dio a costa de una dieta menos diversa y menos saludable, como lo era la dieta de las comunidades de cazadores y recolectores.

Puede que esto parezca ridículo o poco convincente, pues la sedentarización del ser humano así como el surgimiento de civilizaciones tiende a asociarse con una noción de progreso y desarrollo. Pero, desde una perspectiva biológica, la alimentación cambió de una gran diversidad de frutos, nueces, vegetales y animales de todo tipo, a una dieta basada en un reducido conjunto de granos, mamíferos y aves (Harari, 2014). La agricultura, sobre todo, es culpable de esto, y la relación se sostiene tanto para la domesticación de trigo en Europa, el arroz en Asia, y el maíz en el norte, centro y sur del continente americano en donde se puede apreciar, a partir de la información que se almacena en los restos óseos hallados en sitios arqueológicos, que hubo un drástico cambio general en la salud y un aumento en las caries (Jackes, Lubell & Meiklejohn, 1997; Lubel *et al.*, 1994; Richards, 2002; Zilhão, 2000).

Hasta cierto punto, no hay nada natural en el trigo, el maíz y el arroz.; tampoco en los cerdos, las ovejas y aves de corral. Estas especies han surgido como el producto de la manipulación del ser humano quien ha seleccionado y domesticado a estas especies a su modo peculiar de subsistencia. No es que las vacas, los borregos y las gallinas se dieron en

su hábitat como un proceso de selección natural durante miles o millones de años; estas formas de vida son artificiales en la medida que fueron sistemáticamente seleccionadas, adiestradas y moldeadas para satisfacer necesidades humanas. Lo mismo puede decirse del maíz, el trigo y otros granos que se consumen en la actualidad (Diamond, 1999). Esto ha sido una de las más grandes ironías para la especie humana y una gran sorpresa para algunos investigadores. La estereotípica idea de un modo de subsistencia basado en la industria agropecuaria como una forma amigable con la naturaleza no es precisamente eso.

En primer lugar, tal y como se mencionó anteriormente, la sedentarización y domesticación pudo haber sido una adaptación humana por la escasez de recursos y los cambios climáticos que la misma especie provocó. En segundo lugar, el cambio de dieta implicó una trampa, pues involucraba una ingesta de alimentos menos diversa; asimismo, la agricultura involucró un trabajo más exigente para la anatomía homínida y, en particular, para las articulaciones. Tratándose de un homínido que se adaptó por millones de años a las características del clima de estepas y sabanas, trabajar la tierra representó una tarea para la cual no estaba realmente adaptado el *sapiens* (Bowles, 2011; Harari, 2014).

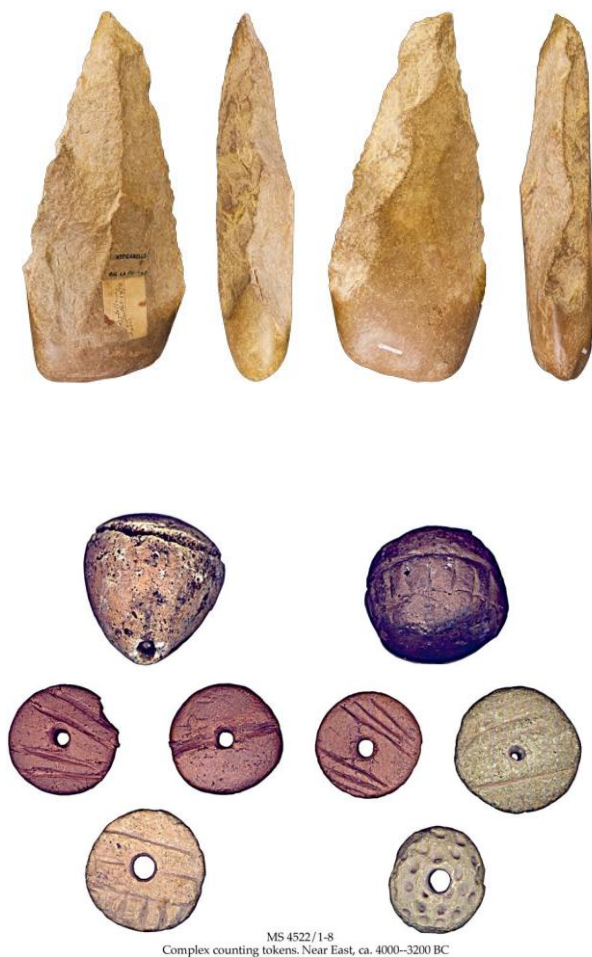
La sedentarización y la domesticación, por ende, representaron una especie de trampa tecnológica en la medida que implicó un cambio drástico en el *modus vivendi* de la especie, y este cambio no fue necesariamente benigno desde una perspectiva biológica. Por lo tanto, hablar del estilo de vida de un campesino como la manera adecuada para interactuar con el medio ambiente, es una preferencia cultural y no una verdad absoluta.

II.5 La sedentarización, primeras ciudades, deterioro ambiental y las tecnologías de la información

Es muy difícil tener absoluta certeza sobre cómo una comunidad de cazadores y recolectores planearían sus actividades económicas. Por otro lado, con la aparición de las primeras granjas y ciudades, los hallazgos arqueológicos suelen acompañarse de evidencia que relata cómo se hacían cómputos y registros para administrar la producción de ciertas actividades. Esta capacidad está dada por la escritura y, a su vez, esto es posible por la

capacidad de lenguaje.

Figura II.1 Hacha de mano achelense de Alto Gerona, Francia y símbolos complejos para contar



Fuente: Fundación Bradshaw, s.f.; Colección Schoyen, s.f.

En cierto punto en el tiempo, el uso de materiales rudimentarios dejó de tener un uso exclusivo para la caza y la alimentación en general; los objetos, empezaron a ser usados para almacenar información. La especie humana empezó a demostrar capacidades sumamente complejas; no obstante, la economía humana también se había tornado más compleja.

A pesar de que la sedentarización involucró una especie de trampa dado que la diversidad

de nutrientes en la ingesta cotidiana se redujo; el hecho de establecerse en un lugar permitió el almacenamiento de comida, y fue esta actividad la que permitió una transición demográfica durante el neolítico en varias partes del planeta (Bellwood & Oxenham, 2008). La población empezó a crecer a tasas mayores pues la supervivencia de los seres humanos estaba sujeta a una lógica completamente distinta a la de sus antecesores. El sistema económico era otro completamente; ahora la subsistencia involucraba producir alimentos y refugio con cierta planeación, para ello no sólo había que almacenar comida, sino también información.

De acuerdo con la evidencia arqueológica, los números tuvieron que haber aparecido antes que las letras. Aunque los números no estaban representados por símbolos sobre un plano como ahora lo hacemos; éstos estaban representados por objetos. Usar un objeto como herramienta manual fue un aspecto tecnológico desde hace millones de años; sin embargo, usar objetos como herramientas informáticas data 7 mil años atrás aproximadamente. El uso de objetos como método contable requiere de una gran capacidad de abstracción; su utilidad no yace en abrir un hueso para extraer su médula o para extirpar la piel de otro mamífero, sino en la intención de representar otras cosas con éstos; trátase de granos, animales, patrones en el clima o patrones tanto en el consumo como en la producción de una sociedad (Schmandt-Besserat, 2009).

Posteriormente, la aparición de la escritura permitió una gestión mucho más intrincada. Es reciente que se atribuya el uso de ciertas técnicas matemáticas como la aritmética, el cálculo y el cómputo con la época moderna o con las culturas occidentales. Sin embargo, este tipo de planteamientos se encuentra completamente fuera de lugar y responde más a cierta especulación que, principalmente, se da en algunas ciencias sociales y posturas filosóficas contemporáneas.

Algunas técnicas matemáticas son casi tan antiguas como la escritura y no son productos específicos de Europa o de la época moderna; un buen ejemplo de esto son los métodos que se usaban en Egipto desde hace más de tres mil años. A través del papiro de Rhind es como se ha podido conocer que los egipcios usaban un sistema que consistía en duplicar y dividir entre dos las cantidades; este sistema algorítmico estaba basado, aunque no explícitamente,

en un sistema numérico binario. Normalmente, se atribuye la invención del sistema binario a Gottfried Leibniz; los números binarios son esenciales para el funcionamiento de las computadoras en la actualidad. Además de esto, los egipcios usaban varios algoritmos para resolver problemas de índole económica como la división de un número “x” de hogazas de pan entre 10 personas (McIntyre, s.f.).

En cuanto a la administración del espacio en Egipto, la medición de la tierra para la planeación y el cobro de impuestos implicaba el uso de “cúbitos”, los cuales eran objetos que medían aproximadamente lo mismo que un antebrazo humano (Salmon, 2003). Y en Babilonia, desde hace aproximadamente 4 mil años, existían ya habilidades de cómputo extremadamente sofisticadas mediante escritura cuneiforme que se practicaban sobre tablas de barro (Fridberg, 2008).

Figura II.2. Cúbitos egipcios y cálculos matemáticos para cargar ladrillos y barro en Babilonia.



Fuente: Science & Societe Picture Library, s.f.; Colección Schoyen s.f.

Otro hallazgo reciente indica que los babilonios, para calcular la posición de Júpiter, usaron técnicas muy parecidas al cómputo geométrico que dio origen al cálculo infinitesimal. La manera en lo que lo hacían era a través de sumar el área bajo una curva, muy parecido a como se hace con las integrales del cálculo infinitesimal moderno (Ossendrijver, 2016). Esta técnica matemática involucró a Isaac Newton y a Gottfried Leibniz en una disputa, pues Newton culpó a Leibniz de plagio al haber publicado materiales parecidos a sus trabajos, esto ocurrió durante la segunda mitad del siglo XXVII; irónicamente, dos mil años antes, los babilonios tenían ya conocimientos semejantes.

En relación a las culturas mesoamericanas, la situación no era distinta. El mejor ejemplo es el de los mayas, quienes invirtieron mucho tiempo observando la posición de cuerpos celestes para la precisa medición del tiempo y de determinadas estaciones. Los mayas manejaban técnicas matemáticas muy elaboradas, su sistema era de base vigesimal y tenían maneras para manejar la exponenciación de cantidades; es por ello que podían hacer cálculos de números muy grandes (Magaña, 1995, 2010). Por estas razones, los casos mencionados anteriormente y muchos ejemplos más; la concepción de la ciencia como un fenómeno occidental del cual emanan tanto la noción de matemáticas como la de tecnología, es una simple construcción cultural contemporánea promovida por algunos pensadores cuyo estilo se asemeja al quehacer literario y que, irónicamente, podría considerarse “moderno”^{9*}.

La aparición de las ciudades es también un fenómeno antiguo y la gestión de éstas siempre ha requerido de algún tipo de tecnología de la información. La idea de una época contemporánea en la que, exclusivamente, ocurren catástrofes ecológicas y la extracción de recursos naturales acelerado para sostener el consumo de las grandes urbes es otro mito; aunque no por ello no deja de ser una preocupación la gestión sustentable de las ciudades en la actualidad.

En relación a esto, por mucho tiempo había sido un absoluto misterio lo que había ocurrido

9 Ya sea que lo “moderno” se interprete como “lo actual” o como un periodo histórico; ni los mayas, ni los babilonios, ni los egipcios fueron influenciados por Occidente a la hora de confeccionar sus tecnologías de la información. Hablar de la modernidad, en cualquiera que sea su acepción, implica cierta influencia, aunque sea histórica, por parte de pensadores y teorías occidentales.

con asentamientos mayas o con la gran urbe prehispánica de Teotihuacán. En cuanto a la cultura maya, las últimas reconstrucciones y estudios que se han hecho tienden a señalar que estas ciudades tuvieron serios problemas de sequías y de escasez de alimentos; y estos problemas, muy probablemente, fueron generados por voraces deforestaciones y la manipulación de grandes superficies del suelo para el trabajo agrícola (Estrada-Belli, 2012; Oglesby *et. al.*, 2010). En cuanto a Teotihuacán, algunos estudios pintan escenarios muy similares; un uso de suelo intensivo y un severo cambio climático (McClung de Tapia *et al.*, 2003; Solleiro-Rebolledo *et al.*, 2006).

¿Es entonces lo moderno y lo europeo lo que únicamente ejerce un dominio racional sobre la naturaleza? Aun si la construcción de edificios requería de la tala de muchos árboles para quemar piedra caliza, y así poder obtener materiales para la edificación de templos en los que, hipotéticamente, se rindiera culto a la naturaleza ¿realmente se está siendo amigable con el entorno, o se trata de una mera construcción cultural? La idea de un modo de ser o de algún arquetipo cultural que sea, en esencia, respetuoso con la naturaleza e inherentemente sustentable carece de fundamento.

Por lo tanto, las ciudades son el hábitat natural de la especie humana y éstas siempre han representado una amenaza no sólo para otras especies sino para el mismo *homo sapiens*. El sistema económico que se da en una ciudad es en sí muy exigente en recursos y su impacto con el entorno es muy difícil de negar, sobre todo en la actualidad; si las ciudades son potencialmente una amenaza a lo largo del tiempo, es entonces importante tener presente la estrecha relación entre la economía y éstas.

De ahí que la noción de sustentabilidad sea importante, pues si el funcionamiento de las ciudades representa un problema futuro que no se podrá controlar, la necesidad de cambiar algunos hábitos es inminente. En la actualidad, las ciudades no son un producto premeditado de los seres humanos, sino el resultado de múltiples interacciones a lo largo del tiempo; el devenir de éstas es tanto muy difícil de rastrear como muy difícil de predecir. Las ciudades son, por lo tanto, un fenómeno complejo que constantemente se somete a drásticos cambios.

A lo largo de la historia de las ciudades y los asentamientos, los seres humanos hemos utilizado diversos tipos de tecnología tanto para obtener energía, alimentos y para la administración de la información. Actualmente no es el fuego sino los combustibles fósiles, principalmente, los que abastecen de energía a las ciudades. No son las hachas de mano o la rudimentaria domesticación de otras especies las que proporcionan nutrientes a nuestra especie, sino todo un arsenal de maquinaria así como la manipulación genética de otras formas de vida. Tampoco son los papiros ni las tablas de barro el medio sobre los cuales se almacena, se computa y se accede a la información, sino las cada vez más veloces computadoras electrónicas en conjunto con la enorme red de éstas que se conecta a través de internet.

El ritmo de los cambios tecnológicos empieza a rebasar nuestra capacidad para predecirlos y contemplarlos; de ahí que la idea de Hugo Zemelman en relación a la disparidad entre la formulación de teorías y la realidad amerite ser enfatizada. Las ciudades contemporáneas son el espacio en el que se manifiestan gran parte de los fenómenos económicos; sean éstas tomadas en cuenta en las teorías económicas o no. Gran parte de la producción que se da en el sistema económico actual, basado en una lógica de mercado, termina siendo consumida en las ciudades. Por ello, no sólo es importante prestar atención en los modos de producción, pues éstos no tendrían razón de ser si no existiese el consumo.

II.6 Evolución por selección cultural

En un estudio en el cual se analiza el estatus de la biósfera de la Tierra a lo largo de su historia, se concluye que, en gran medida, muchos de los sistemas naturales del planeta ya no responden a las lógicas de la evolución por selección natural. La principal fuente de cambios que se dan en el planeta Tierra depende ahora de una sola especie, la del *homo sapiens* (Williams *et. al*, 2015).

La velocidad de la evolución refleja la naturaleza fundamentalmente diferente de la evolución de la tecnología y de la cultura con respecto a la evolución biológica. Mientras que la evolución biológica requiere de

mutación y de selección a un nivel genético entre generaciones individuales para producir cambios en el fenotipo a largo plazo; los rasgos culturales y tecnológicos pueden transmitirse, alterar fenotipos, someterse a selección, recombinarse para crear nuevos fenotipos y evolucionar a velocidades cercanas a la inmediatez (pp. 13).

En este sentido, más que esperar que de manera súbita se den cambios hacia modos de vida más sustentables cuyo impacto sea menos violento hacia el entorno, resulta sumamente necesario modificar patrones en la conducta humana; pues los cambios tanto en la biósfera como en los sistemas naturales, que desde el paleolítico y el neolítico el *homo sapiens* ha potenciado, se presentan en la actualidad más intensificados que nunca. En relación a esto los autores agregan lo siguiente.

La posterior evolución de la biósfera depende críticamente tanto del comportamiento social y de la interacción de los humanos en múltiples escalas (individuos, familias, pueblos, ciudades, comunidades en línea y redes sociales, compañías, estados e instituciones supranacionales) como del desarrollo de tecnología (pp. 16).

[...] Las dinámicas del sistema humano y de la antropósfera se dan principalmente por cambios en la organización social, relaciones de intercambio, la ingeniería de ecosistemas, sistemas de energía y por las retroalimentaciones con otros sistemas del planeta Tierra (pp.16).

De acuerdo a este estudio; dado que existe una gran homogeneización de la flora y fauna en el planeta^{10*}, que la extracción de combustibles fósiles y la actividad agropecuaria ha generado más biomasa que la que naturalmente se da a través de la fotosíntesis, y que la especie humana ha sido capaz de modificar genéticamente a otras especies, incluso a través de la domesticación desde el neolítico, el planeta se encuentra en una fase completamente distinta cuyo rastro ha plasmado una era que tomaría escalas de tiempo geológicas para desaparecer (Williams *et. al*, 2015). Dicho de otro modo, tanto la biósfera como el clima del planeta son completamente diferentes a cualquier otra época que haya experimentado la Tierra.

10 La mayor parte de la biomasa en el planeta se compone de los mismos seres humanos y los animales que ha domesticado como los caballos, los cerdos, las ovejas, entre otros.

El desarrollo económico, por lo tanto, tendría que concebirse de modo diferente a lo que el discurso de Henry Truman en 1949 quiso insinuar; es decir, que el desarrollo es un camino predefinido hacia estados de existencia cada vez mejores para los cuales se conoce la fórmula. Tampoco puede caerse en una forma de pensamiento como la que engendró el posmodernismo, para la cual hay que liberarse de “metarrelatos” y que, por ende, cualquier “construcción epistemológica”, mientras no se parezca a lo “moderno” y mientras reniegue a éste, bastará para revertir los cambios inducidos por el *homo sapiens* desde hace miles de años.

El desarrollo económico, por lo tanto, tiene que contemplar la noción de cambio y la completa adaptación de patrones tanto para la producción como para el consumo. Éste tiene que contemplar el rol que juega la existencia de las ciudades, y que éstas representan un problema. Por ello, el rol de la tecnología y de la cultura combinados juega un papel sustancial; no sólo se trata de generar otros medios de producción y de consumo, sino que la gente acepte interactuar con ellos.

Al hablar de evolución por selección cultural es importante enfatizar que una de las principales razones por las cuales puede hablarse de ello es porque, dentro de todas las especies que han habitado al planeta Tierra, existen varias que naturalmente viven en sociedad. Muchos mamíferos conviven de manera estructurada con sus semejantes; sin embargo, ninguna otra especie además de la nuestra es capaz de cooperar en grandes números. Las ciudades son precisamente el ejemplo de ello; éstas son hábitats que para proveerse tanto de energía, alimentos e infraestructura requieren del trabajo de múltiples individuos que no necesariamente se conocen o son cercanos entre sí. Es a través de un complejo sistema económico que una gran diversidad de actividades se lleva a cabo.

El historiador Yuval Noah Harari ofrece, tal vez, una de las más creativas y plausibles descripciones de cómo es que el *homo sapiens* ha conseguido cooperar a gran escala. La cooperación del *sapiens* es posible por las características de su lenguaje. El lenguaje permite la comunicación entre los humanos, sin embargo, el *homo sapiens* no es la única especie que puede comunicarse. ¿Qué lo hace distinto entonces?

La capacidad de lenguaje del ser humano le permite articular un reducido conjunto de sonidos sencillos de múltiples maneras que pueden conformar muchas combinaciones; estas combinaciones permiten la formación de palabras. Las palabras, a su vez, pueden articular muchos enunciados; la posibilidad de combinaciones es enorme y la capacidad que esto otorga para transmitir información también lo es. Sin embargo, no es en esta complejidad *per se* dónde, de acuerdo a Harari, yace la más importante distinción, sino en que este tipo de estructura lingüística permite la creación y comunicación de ficciones (2014).

En relación a esto, otras especies de simios tienen lenguajes vocales y pueden comunicar información; pero sólo sobre cosas reales y presentes, como dónde hay comida o si se encuentra cerca algún depredador. El lenguaje humano, sin embargo, puede comunicar cosas que no existen en lo absoluto. La comunicación sobre acontecimientos que no se pueden experimentar o sentir hace posible que surjan mitos, leyendas, dioses y todo tipo de historia. Harari documenta cómo muchos grupos humanos consiguen cooperar a gran escala gracias a que se comparten ciertas historias, y gracias a ello es que se da la institucionalización de ciertas agrupaciones como pueden ser las religiones organizadas y la conformación de nacionalismos a través de la invención de estados-naciones.

Sin embargo, no sólo son historias religiosas o políticas las que permiten la cooperación masiva. Harari asevera que una de las historias más exitosas en la historia de la humanidad es la que gira en relación al dinero. No hay nada intrínseco en el papel moneda que imprimen los bancos centrales que le de valor, tampoco lo era su respaldo en oro cuando éste era vigente; la razón por la cual un sistema monetario existe es porque todos creen y confían en él. En la medida que todos compartan la historia alrededor de la condición fiduciaria del dinero, el sistema entonces funciona (2015).

¿Qué relación tiene esto con la evolución por selección cultural? La dinámica de gran parte de las sociedades humanas contemporáneas está estrechamente ligada con cuestiones económicas. El consumo excesivo de cierto *commodity* puede estimular los incentivos para seguir ofreciéndolo; aun cuando éste *commodity* atente contra la sustentabilidad de las ciudades y contra cuestiones meramente biológicas.

Del mismo modo, puede existir una enorme confianza al rededor de lo que se produce en la academia o en el quehacer gubernamental; y muchos economistas pueden compartir la creencia de que cierto tipo de política o modelo es el más adecuado y verlo fallar a medida que pasa el tiempo, tal y como se ha dado anteriormente. Otras posturas podrán alegar que existen “estructuras de poder” y que por lo tanto, nada se puede hacer para modificar el sistema económico; sin embargo, mientras un gran grupo de personas crea en esto la historia funcionará y el comportamiento de las personas se adaptará a ella, y como consecuencia “no habrá nada que se pueda hacer”. Por lo tanto, el esfuerzo en la academia y en la investigación por generar cualquier innovación puede ser nulo; esto es un ejemplo de lo que a veces se llama “una verdad por convención” (Audi, 2003).

Hablar de economía, por ende, implica hacer alusión a una temática que está atiborrada de una gran carga cultural, independientemente de la acepción que se le dé al término. Si se hace alusión a la economía como el sistema con el cual se producen bienes y servicios en la realidad; se está tratando de una cuestión cultural pues se trata de costumbres y procesos que se transmiten dentro de una sociedad, tal y como fue la revolución agrícola durante el neolítico. Si se alude, por lo contrario, a la “economía” como una teoría o explicación, también se hace referencia a una carga cultural que se transmite, se adopta y se comparte entre varios individuos; independientemente de si la teoría sea un adecuado reflejo de la realidad pues, como indicó Zemelman, puede existir el riesgo de un desajuste.

Es precisamente por “los desajustes” o por no haber contemplado cosas que, notoriamente, son reales que ahora existen muchas preocupaciones sobre cómo gestionar las ciudades y cómo generar nuevos modos de producción; pero si el comportamiento de una sociedad no se adapta a estas necesidades y su consumo no se modifica las probabilidades de una innovación se reducen.

Considérese el ejemplo de Volkswagen. La regulación ambiental en el estado de California en Estados Unidos evitó que se continuara con la venta de algunos vehículos cuyo motor estaba intencionalmente modificado para poder identificar cuando el automóvil estuviese siendo sometido a pruebas de verificación vehicular para entonces generar, de modo automático, menos emisiones de óxido de nitrógeno que aquellas que la ley permitía

(Hebert, 2015); el escándalo provocó que las ventas en Estados Unidos cayeran drásticamente (DeBord, 2015). Al mismo tiempo, las ventas en México aumentaron (AMDA, 2015); nadie obligó a los consumidores mexicanos a tomar cierta decisión de consumo. Tal vez existan incentivos a través de la oferta de créditos y disminuciones en los precios, pero eso no es equivalente a ser forzado por el sistema.

Del mismo modo; durante el primer trimestre de 2016, la ciudad capital de México se vio en la necesidad de declarar una contingencia ambiental por el elevado nivel de contaminantes en el aire. El problema está estrechamente relacionado con las emisiones de los automotores así como de los hábitos de manejo que adopta la gente (Mochán Backal, 2016). ¿Es el sistema capitalista *per se* a quien se le atribuye toda la culpa? ¿Es únicamente una precaria regulación ambiental la que ha llevado a esa situación? ¿O tendrá algo que ver que, a lo largo de varios años, los patrones de consumo y los hábitos cotidianos de millones de personas son proclives a la preferencia por viajar en un automóvil en vez de compartir medios de transporte?

Anteriormente en este capítulo, se mencionó que la confección de herramientas en los homínidos puede ser considerado como un rasgo que se ha dado naturalmente y no culturalmente. Esta discusión se da en la medida que lo cultural sea interpretado como aquellas conductas y habilidades que se transmiten a través de mecanismos de “alta fidelidad”; es decir, a través de la enseñanza o de la imitación. Dado que los seres humanos son criaturas extremadamente capaces, inteligentes y creativas; puede bastar una sola persona para encontrar una solución creativa a un problema, pues no siempre es necesario que algún agente externo tenga que estar presente para aprender a hacer algo nuevo.

Una vez dicho esto, la cultura puede jugar en contra de la generación de alternativas y soluciones a ciertos problemas. Si existe cierta rigidez y renuencia a adoptar hábitos y conductas diferentes debido a la existencia de fuertes convenciones dentro de un grupo; las posibilidades para ejercer creatividad pueden verse completamente inhibidas. De ahí que exista una gran oportunidad en lo que puede representar una mutación cultural; ésta consiste entonces en actuar diferente, en radicalizar ideas y conductas convencionales. Es ése el espacio que puede explorarse para promover cambios y alternativas dentro de una

sociedad.

En los próximos capítulos se explorarán y propondrán algunas tecnologías, junto con los hábitos correspondientes a éstas, que pueden ponerse en marcha, y se han puesto en marcha, en años recientes. Esto ha sido posible por la disminución de costos y desaparición de barreras que han experimentado varios de los componentes necesarios para echarlas a andar, así como algunas transformaciones culturales que se han dado en décadas recientes.

III. Las ciudades como sistemas adaptativos complejos

Este capítulo tiene como objetivo esclarecer la acepción del término complejidad y, nuevamente, marcar una separación con el uso que se le da a este término en la esfera post-moderna. En este sentido, al hablar de complejidad se habla de la propiedad de ciertos fenómenos que se distinguen por estar compuestos de una diversidad de elementos que al interactuar bajo ciertas reglas producen resultados que no pueden derivarse a través de métodos analíticos.

Por estas razones, se propone estudiar a los fenómenos económicos y, particularmente a los problemas ambientales en asentamientos urbanos que surgen por cuestiones económicas, como si estos fueran un sistema adaptativo complejo. Para ello, es necesario enfatizar la importancia de la cooperación multidisciplinaria para lo cual se propone el uso de modelos basados en agentes como método, se hace una discusión de las principales características de este tipo de método (de abajo a arriba) con modelos ortodoxos de con enfoque de "arriba a abajo"; y, por último, se presentan algunos ejemplos de modelos basados en agentes.

III.1 La relación entre la economía y las ciudades: la necesidad de una nueva óptica

A partir de hace algunas décadas, el estudio de la economía se ha sometido a fuertes críticas; éstas, sin embargo, no son del todo parecidas a otras que también se han emitido anteriormente. Es decir, no se trata de críticas que llevan en sí un tinte político e ideológico que asocia a las teorías neoclásicas y a los modelos de equilibrio general con alguna esfera de poder, o con la dominación de poderosos hacia una población vulnerable y sometida. Estas otras críticas, por lo contrario, se enfocan más en la incapacidad de la economía ortodoxa por representar fenómenos reales; estableciendo que los modelos de las posturas más ortodoxas se han apoyado de un elaborado cúmulo de técnicas matemáticas que persiguen la elegancia en vez de la plausibilidad.

Esto, desafortunadamente, ha colocado a la disciplina económica bajo un estatus sujeto a un severo escepticismo y subestimación el cual no sólo proviene de otras ciencias sociales, sino también de otras disciplinas las cuales podrían considerarse “ciencias duras”. Hablar entonces de la economía como una “ciencia” o una serie de metodologías para poner en marcha alguna política o plan de desarrollo puede generar incredulidad y un severo cuestionamiento no sólo entre expertos y académicos sino también entre la sociedad en general.

En este sentido, es importante enfatizar que se puede hablar de la “economía” como los intentos por comprender y representar la realidad de los fenómenos económicos de las sociedades humanas. Asimismo, también se puede hablar de la economía como la totalidad de fenómenos y acontecimientos reales en los que las sociedades humanas producen, consumen e intercambian. Por lo tanto, las teorías y explicaciones que surgen tanto en la academia como en la planeación de políticas públicas y privadas pueden estar completamente desfasadas de los fenómenos reales. Éste es el punto principal sobre el cual diversas posturas, investigaciones y críticas se han enfocado; el nodo común en el que todas estas facetas coinciden es que la realidad es más compleja de lo que algunas teorías insinúan, y esta crítica aplica particularmente para el caso de aquellas teorías más ortodoxas en la economía como disciplina.

En la misma línea de estas críticas se enfatiza que el ritmo del cambio en la realidad social es mucho mayor al ritmo de la generación de teorías y explicaciones. En relación a esto, actualmente más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades. Gran parte de los fenómenos económicos tienen su origen en el estilo de vida que impone una urbe y este estilo de vida suele extremadamente dinámico. Aun cuando mucha gente mantiene estilos de vida rurales, a lo largo del tiempo se ha visto un crecimiento sostenido en la población urbana, así como una reducción en la población rural (ONU, 2014). El consumo urbano no sólo permite este crecimiento poblacional sostenido, también afecta a entornos rurales y a otros ecosistemas. Las ciudades, por ende, se han convertido en un enorme reto el cual tiene que atenderse durante los próximos años, aun cuando las teorías y los modelos más ortodoxos de la disciplina económica no lo hayan contemplado así.

En los siguientes capítulos se prestará atención al fenómeno de las ciudades, interpretando a éstas bajo la noción de los sistemas complejos. Para ello, será necesario apartarse de los modelos ortodoxos de equilibrio general así como del convencional análisis macro y microeconómico que contempla variables agregadas. Bajo la premisa de que existen nuevas condiciones de posibilidades para estudiar a las ciudades y a sus respectivos sistemas económicos gracias a la existencia de nuevas tecnologías de la información, cierto tipo de investigación y experimentación puede llevarse a cabo de maneras que antes no era posible.

En este capítulo en particular, se enfatizarán algunas diferencias entre la concepción convencional de los sistemas económicos como sistemas en equilibrio y la noción de éstos como un fenómeno que están en constante desequilibrio. Por ello es que se interpreta tanto a la economía como a las ciudades como ejemplos de sistemas complejos; pero para ello se concuerda con la noción general de las teorías de la complejidad como algo que requiere de una participación diversa y multidisciplinaria. Por último, y en relación a lo anterior, se presenta el caso de los modelos basados en agentes como una tecnología de la información que permite simular y explorar diferentes escenarios sobre lo que puede ocurrir en las ciudades y en sus sistemas económicos.

III.2 Sobre las acepciones y los usos del término “complejidad”

Para algunos autores, el término no ha logrado ser reducido a una definición específica y delimitada como llega a suceder con otros conceptos dentro de algunas ciencias “exactas”, o incluso como suele practicarse, por ejemplo, dentro de las matemáticas analíticas. En muchas investigaciones, sin embargo, el uso del concepto complejidad involucra muchas técnicas cuantitativas y computacionales. El concepto, desde esta perspectiva, tiende a referirse tanto a cierto tipo de interpretación como al conjunto de técnicas que se usan para estudiar fenómenos biológicos o sociales en los que, a diferencia de fenómenos de índole mecánica, muchas partes entran en interacción y esto produce resultados que no pueden derivarse analíticamente (Page, 2010; Mitchell, 2012).

La evolución por selección natural (Johnson & Lam, 2010), la sinapsis entre neuronas

(Telesford *et al.*, 2001) y el lenguaje hablado (Gilbert *et al.*, 2006) podrían servir como ejemplos. En éstos, existen varios elementos similares pero no idénticos que mantienen cierta interdependencia entre sí; y como consecuencia de la interacción entre las partes surgen ciertos resultados, a los cuales a veces se les llama “patrones emergentes”. Estos resultados, en relación a los ejemplos mencionados anteriormente, pueden ser el surgimiento de una nueva especie (evolución por selección natural), el aprendizaje en un individuo (sinapsis entre neuronas), y la construcción de significados a través de la articulación de fonemas (lenguaje hablado) respectivamente. Ninguno de estos puede derivarse como una mera sumatoria de eventos o como el cómputo de una función analítica, se trata más bien de un conjunto de procesos y relaciones interdependientes.

De acuerdo a esta acepción, los sistemas económicos, por igual, son inherentemente complejos. En éstos, muchos agentes o individuos interactúan de manera interdependiente, y es a través de este tipo de procesos que surgen varios tipos de fenómenos como las fluctuaciones en los precios, los procesos de innovación o, inclusive el calentamiento global.

El concepto de complejidad, sin embargo, parece también haberse sometido a un uso, hasta cierto punto, parecido al uso que se le ha dado a conceptos como el de entropía o energía. Éstos, en ocasiones, se usan con acepciones completamente distintas a las que originalmente se dieron en la termodinámica o disciplinas afines. Por ejemplo, en la física como disciplina, la palabra “energía” hace referencia a la capacidad de un sistema para generar trabajo, pero algunas personas usan este término de modo no tan pragmático e instrumental, sino de un modo retórico y literario. Esto no es necesariamente malo, pero puede provocar confusiones y nomenclaturas arbitrarias.

Con respecto al concepto de complejidad, existen algunas posturas que recurre al término para insinuar que existen algunos fenómenos o acontecimientos que, si bien, se componen de muchas partes cuyas relaciones entre sí no son del todo claras, al mismo tiempo, dada esta condición parece que se sugiere que no es posible entonces estudiarlas y que cualquier intento científico o intelectual fracasará al intentarlo. Como ejemplo de esto, para Toledo y González (2005, pp. 1), “las relaciones sociales están presididas por la complejidad y no

pueden ser reducidas a análisis físico-biológicos”. Estos autores afirman también que “considerando el nivel de complejidad que ello supone”, no se ha podido entender “adecuadamente el vínculo entre el mundo social y mundo natural” (Toledo & González, 2005, pp.1).

En relación a la economía, Enrique Leff adopta influencias filosóficas y literarias, pues habla de la “deconstrucción” del sistema económico vigente, término popularizado por Jaques Derrida y que ha resultado en una práctica habitual en lo que puede llamarse postmodernismo; en esta corriente es común renegar del pasado y de cualquier tradición científica que pueda asociarse con la modernidad y la Ilustración. De acuerdo a las palabras de Leff:

La deconstrucción de la economía no significa tan sólo un ejercicio mental para desentrañar y descubrir las fuentes del pensamiento y los intereses sociales que se conjugaron para dar luz a la economía, hija del Iluminismo de la razón y de los intercambios comerciales del capitalismo naciente, sino de un ejercicio filosófico, político y social mucho más complejo (2008, pp. 85).

Asimismo, Boisier (1999, pp. 5) al hablar del concepto de desarrollo económico, afirma lo siguiente:

En la medida en que se reconoce en el desarrollo un concepto complejo, profundamente axiológico, multidimensional, constructivista, cualitativo en su esencia e intangible por consecuencia, el paradigma científico que ha dominado el desarrollo científico de la modernidad, el paradigma asociado a Isaac Newton y a las leyes de la mecánica celeste, a Francis Bacon y al método experimental como único fundamento del conocimiento científico y a René Descartes y al razonamiento analítico, deja de ser útil para entender el desarrollo por su carácter de un paradigma reduccionista, mecanicista y lineal.

En cuanto a si hablar de complejidad requiere de un cambio de paradigma en relación a cómo estudiar no sólo fenómenos naturales sino también sociales, muchos investigadores contemporáneos coinciden con ello. El genetista Stuart Kaufman, por ejemplo, dice que

“nuestra inhabilidad para enunciar cómo surgen novedosas funcionalidades en la naturaleza es una limitación esencial de la manera en la que Newton nos enseñó a hacer ciencia” (cómo se cita en Ilanen, 2012, pp. 76); y el geógrafo Michael Batty, en relación al principio de parsimonia en la elaboración de teorías científicas dice que “La navaja de Occam puede ser la máxima búsqueda pero en los sistemas sociales la evidente complejidad es tan grande que la plausibilidad en vez de la validez puede representar la verdadera búsqueda” (2012, pp. 48).

Por un lado, empieza a darse, a modo de crítica, un severo cuestionamiento en cuanto a si cierto paradigma científico puede ser una genuina limitación para el estudio de sistemas sociales a los cuales se les reconoce como fenómenos complejos, y que por ello se necesita de modos distintos para la confección de ciencias y teorías. Dado que un sistema económico es un fenómeno que surge a partir de interacciones entre los miembros de una sociedad, difícil sería entonces estudiar dicha dinámica si las herramientas que se usan para ellos son sumamente rígidas y mecánicas.

Por otro lado, existe el riesgo de caer en una actitud proclive a sólo emitir críticas hacia nociones de por sí añejas y obsoletas de lo que se entendía como ciencia en el siglo XVI y XVII. El problema con este tipo de postura es que el tono con el que se emiten críticas es muy parecido al que exclusivamente se llevaría a cabo en un curso de literatura comparada o de filosofía continental ^{11*} (Harvey, s.f.). Pues, al parecer, en una gran parte del quehacer de teorías e interpretaciones en las ciencias sociales ya no se percibe la diferencia entre construcciones literarias dotadas de cierta abstracción filosófica e innovaciones o aplicaciones reales en relación al estudio de fenómenos económicos. Esto amerita

11 En una de las citas anteriores, Enrique Leff utiliza el término “deconstrucción” para referirse a lo que tiene que hacerse para revocar las ideas principales del pensamiento económico ortodoxo; el término fue popularizado por Jaques Derrida. David Harvey, en un curso sobre “El Capital” de Karl Marx en la Universidad de Nueva York, el cual puede consultarse por internet, comentó que en alguna ocasión coincidió en la universidad Johns Hopkins con estudiantes que habían tenido una gran influencia de Jaques Derrida; este último había estado a cargo de la docencia en cursos de literatura comparada en dicha institución. En este sentido, la interpretación que puede hacerse sobre la sociedad y la economía puede estar muy influenciada por ciertas corrientes literarias y filosóficas popularizadas en ciertos países que realmente sólo se limitan al análisis de textos. No es que se pretenda insinuar que hay un problema inherente al estudio de la economía así; el problema es que el análisis literario se convierta en la única forma de interpretar a una sociedad, y por ende a su sistema económico. Difícilmente, el quehacer literario por sí mismo podrá generar investigaciones reveladoras si éste no involucra cierta experimentación y observación sobre la realidad, particularmente en relación a sistemas complejos.

enfatzarse, dado que si se considera que los problemas que enfrenta la población actual son reales, entonces tendría que pensarse en soluciones plausibles.

Dado lo anterior, el término “complejidad” puede usarse como una muletilla que intenta invalidar cualquier intento por indagar e investigar. Aseveraciones como “no se puede estudiar lo natural y lo social porque es complejo” o “la realidad es compleja y la ciencia no puede captarla” son reflejo de cierto paradigma que se reduciría a la práctica literaria, así como a la reflexión del término complejidad a través de la elaboración de ensayos. Inclusive, tanto dentro de la academia como dentro de cierto quehacer filosófico contemporáneo, en la medida que este tipo de ideas se transmitan y permanezcan sin cuestionamiento ni crítica, podría entonces hablarse de “otra postura dominante”. Si tan rígida es la acepción del término “complejidad” en cuanto a lo que se puede o no estudiar, a medida que muchos adopten esta actitud y que esta mentalidad se propague; entonces, por defecto, puede darse una nueva especie de paradigma revestido de una actitud proclive a no intentar y no explorar.

Por otro lado, otras personas han hablado de complejidad desde otra perspectiva. En este otro tipo de investigaciones la complejidad es un atributo de ciertos sistemas cuya consideración implica una crítica hacia ciertas tradiciones científicas así como a la economía ortodoxa, pero involucra también una práctica completamente distinta para estudiar ciertos fenómenos; y no por ello se prescinde de la observación, la experimentación y del uso de herramientas matemáticas y computacionales. Es incluso a través de la observación y del uso de nuevas tecnologías de la información, como se verá más adelante, que pueden emitirse críticas concretas a la tradición económica ortodoxa en relación a cómo se estudia e interpreta a la economía. Las matemáticas y lo cuantitativo, por lo tanto, adquieren una interpretación y un uso radicalmente distinto a lo que se esperaría de la ortodoxia.

Dado lo anteriormente establecido; en este trabajo, cuando se habla de complejidad, no sólo se hace referencia a una postura epistemológica diferente. También se hace alusión a un conjunto de técnicas y métodos de investigación que han surgido en las últimas décadas, que son diversos, que buscan y promueven el estudio multidisciplinario, y que son posibles

a raíz del incremento reciente y acelerado en la capacidad de las computadoras para manejar más información a menor costo y en menor tiempo.

Esto, naturalmente, supone resultados diferentes, y a veces opuestos, a los que se derivan en la ortodoxia económica a través de modelos de equilibrio general y modelos macroeconómicos con variables agregadas. En este tipo de modelos, se interpreta a la economía como un fenómeno cuyos acontecimientos se pueden derivar analíticamente; un ejemplo de esto es la mera concepción de un mercado como un fenómeno en el cual interactúan dos fuerzas opuestas, la oferta y la demanda.

De acuerdo a esto, dado que la oferta y la demanda tienen comportamientos “predecibles”, entonces, en teoría, se puede conocer el nivel de precios y cantidades para un bien en particular. Sin embargo, para poder llegar a conclusiones como ésta es necesario hacer ciertos supuestos en torno a los agentes que participan en un mercado. En este tipo de modelos, los agentes son “representativos” y tienen “racionalidad perfecta”, aunque los detalles sobre el espacio y el tiempo en el que se dan sus interacciones suelen permanecer difusos, o simplemente la atención que se les presta es insuficiente.

Del mismo modo, los fenómenos macroeconómicos son entendidos como algo que puede derivarse de la sumatoria de eventos microeconómicos. Es decir, “la suma de las partes es igual al todo”. Dado esto, el precio y cantidad agregada de un bien se da como el resultado lineal entre el quehacer de todos los oferentes y demandantes de todos los mercados. En la realidad se dan patrones completamente distintos; tómese por ejemplo el caso de los mercados financieros en los que las expectativas pueden no sólo modificar el precio de un *commodity* o de una moneda, sino generar una gran volatilidad incluso momentos antes de que se haga un anuncio económico importante (Roache & Rossi, 2009; Sun, Rezaia, Rachev & Fabozzi, 2011). En este sentido, más que darse un equilibrio por dos fuerzas opuestas se da un constante desequilibrio producido por las expectativas y decisiones de las personas.

A hablar de sistemas complejos, y al interpretar a los sistemas económicos como tales, se dice que “la suma de las partes es más que el todo”; pues, los resultados o patrones

emergentes no se comportan como algo que puede derivarse a través de un cómputo mecánico y lineal, sino que se dan como un patrón que emerge de la diversa interacción entre múltiples elementos. Y en muchas ocasiones, es probable que no exista alguna heurística humana que permita predecir qué resultado surgirá en un sistema; esto quiere decir que el rol de una técnica matemática o método cuantitativo se limitaría a describir en vez de predecir o calcular algún valor con cierto grado de exactitud.

Anteriormente se mencionó que no existe una delimitación tajante para definir los términos “complejidad” y “sistema complejo”; no obstante, a través de la descripción que otorgan ciertos autores se puede hallar algunos puntos en común. En relación a esto, se ha dicho que "un sistema complejo consiste de diversas entidades que interactúan en una red o una estructura de contacto, un espacio geográfico, una red de computadoras, o un mercado. Las acciones de estas entidades son interdependientes" (Page, 2010, pp. 25). Y por ello, "las características innatas de la sociedad tienden a producir complejidad" (Miller & Page, 2007 pp. 10).

Hablar de complejidad implica recurrir a algunos conceptos como “la interconexión e interdependencia entre elementos y dimensiones”, “procesos de retroalimentación que promueven o inhiben cambios en un sistema”, “características sistémicas y comportamientos que surgen de simples reglas de interacción”, “no linealidad”, “sensibilidad a condiciones iniciales”, “espacio de posibilidades”, “agentes adaptativos”, “auto-organización” y “co-evolución” (Batty, 2008; 2009; 2001; Buchanan, 2003; Epstein & Axtell, 1996; Gilbert & Troitzsch, 2005; Holland, 1992; 1996; 2012; Mitchel, 2012; Ramalingam, Jones, Toussaint & Young, 2008).

El estudio de los sistemas complejos por ende, no implica que el uso del término complejidad se use como una “muletilla” o pretexto que excusa la incapacidad para estudiar ciertos fenómenos. El estudio de la complejidad es, por lo tanto, una actitud y modo de estudio que considera que es posible comprender fenómenos sociales siempre y cuando se haga desde una perspectiva multidimensional y multidisciplinaria, y que tome en cuenta que los fenómenos sociales son inherentemente dinámicos y cambiantes.

Por ello, “los conceptos de la complejidad se pueden describir mejor como una [...] red de ideas interconectadas e interdependientes. Su relevancia y aplicabilidad puede apreciarse mejor a través de estudios empíricos y realidades prácticas” (Ramalingam, Jones, Toussaint & Young, 2008, pp. viii). Y en cuanto al estudio de los sistemas económicos, se requiere de “una visión sistémica capaz de captar la complejidad de los procesos de desarrollo” (Coraggio, 2005, pp. 12)

III.3 Algunos retos y oportunidades en la investigación multidisciplinaria

En relación a la problemática de las ciudades, el crecimiento poblacional y a las consecuencias económicas y ambientales que se dan como consecuencia de esto; no sólo existe el reto de encontrar soluciones a estos problemas, también está el reto de lograr una comunicación fructífera entre diversas disciplinas que permita poner en marcha ideas y planes innovadores. El hecho de que los fenómenos ante los cuales se enfrenta la sociedad en referencia a los espacios urbanos son complejos, hace necesaria una forma de pensamiento compleja que se dote de un cúmulo de técnicas que estén a la altura de la magnitud de estos fenómenos.

Sin embargo, cada disciplina o tradición en la investigación genera y ha generado sus propias lógicas, aparatos conceptuales y metodologías; a veces sin contemplar otras posturas y experiencias. En cuanto al problema de la sustentabilidad de las ciudades, empieza a ser cada vez más notorio que dada la inmensidad del reto y la complejidad inherente en éste, no debe de escatimarse en cuanto a perspectivas e ideas; no obstante, en la práctica resulta más difícil poner en práctica esta actitud. Relacionado a esto; McCormick, Anderberg, Coenen y Neij opinan lo siguiente:

Un enfoque sectorial o disciplinario para los retos del desarrollo sostenible y para el cambio climático en relación a las ciudades fallará. En vez, la investigación y la práctica con la capacidad de moldear políticas urbanas y prácticas hacia una dirección sustentable se dará con la intersección de diferentes disciplinas, sectores y metodologías. Un enfoque integrado es necesario en el que la investigación y la innovación

sean combinadas para explorar, experimentar, y evaluar soluciones creativas en contextos complejos y reales. Desde la perspectiva de la investigación, dado que diferentes disciplinas construyen sobre tradiciones de investigación ya establecidas y éstas han desarrollado enfoques científicos específicos y lenguajes, la cooperación resulta muy difícil. (2013, pp. 9).

Relacionado a esto; probablemente, uno de los principales problemas que dificulta la comunicación entre distintas disciplinas es la sectorización y discrepancia entre investigadores adeptos a métodos de investigación cuantitativos y cualitativos. Tanto la noción de que ambos involucran interpretaciones de la realidad completamente distinta, como la noción de que optar por un método u otro implica apegarse a jergas y tradiciones completamente diferentes puede representar un obstáculo para la cooperación. Estrechamente relacionado con esto, el psicólogo, pedagogo y filósofo Chong Ho Yu ha dicho que:

“Con mucha frecuencia, algunos investigadores expresan su frustración en cuanto a que algunos conceptos como el de confiabilidad y validez, que se dan por sentado en el paradigma cuantitativo, no tienen términos equivalentes en la contraparte cualitativa, y entonces los métodos mixtos parecen ser en vano (2003, pp. 6)”

Yu asevera que una creencia que fomenta esta discrepancia desde las ciencias sociales tiene que ver con “la mal interpretada relación entre el positivismo lógico y la investigación cuantitativa”. De acuerdo a sus palabras:

A pesar de que las metodologías de investigación cuantitativa son ampliamente utilizadas por científicos sociales, existe un malentendido en cuanto que la investigación cuantitativa está basada en el positivismo lógico. Esta confusión lleva a disputas equivocadas entre investigadores cualitativos y cuantitativos [...] la polaridad entre ambas es innecesaria (Yu, 2003, pp.1).

Según Yu, uno de los principales obstáculos es que, dentro de las ciencias sociales, suele creerse que el hecho de usar métodos estadísticos y numéricos tiene como fundamento filosófico, metodológico y epistemológico aquellos mismos que se pregonaban como “los

correctos” por parte del movimiento del empirismo lógico^{12*}.

Del mismo modo, afín a esta manera de pensar, suelen, en cierta medida, entenderse las nociones de ciencia, Renacimiento y positivismo como una especie de sinónimo o, cuando menos, se presentan a estas nociones como conceptos estrechamente relacionados y que, como consecuencia de alguna determinación histórica, se conciben y se transmiten como un hecho irrefutable. Como ejemplo de esto, puede citarse al distinguido sociólogo mexicano Enrique de la Garza Toledo (1988), que con respecto a la ciencia, al Renacimiento y al positivismo opina lo siguiente:

Es el renacimiento el que inaugura un nuevo concepto de verdad y de criterio de verdad [...] aparece la necesidad de verificar la terrenidad del pensamiento, reivindicándose a la experiencia sensible como criterio de verdad [...] y fijó un concepto de objetividad en donde el objeto aparece independiente del sujeto. Se fija así uno de los futuros dogmas positivistas, el de la neutralidad de la ciencia y el de la objetividad como lo descontaminado de la ideología del sujeto (1988, pp.11).

Según esta percepción, la ciencia es entonces algo sumamente rígido que está atado a la tradición positivista y cuyos practicantes mantendrían una mentalidad que se remonta al Renacimiento. Bajo esta interpretación, se puede llegar a creer que el único rol del quehacer científico es el de verificar enunciados a través de la observación, y que es a través de este proceso, al cual este tipo de críticas llaman “el hipotético deductivo^{13*}”, que se busca validar la noción de que existen leyes universales. De la Garza lo pone de la siguiente manera:

12 El positivismo lógico fue más que una corriente filosófica. A finales de la década de 1920 en Austria, varios filósofos y científicos sesionaban y publicaban manuscritos de manera recurrente; sus miembros buscaban promover sus ideas y nomenclaturas como la metodología por excelencia que debía de establecerse en el quehacer científico. El positivismo lógico fue, hasta cierto punto, un movimiento político.

13 Yu menciona que existe también una confusión en relación a lo que en la estadística suele llamarse “pruebas de hipótesis”. Yu lo pone de la siguiente manera. Los métodos estadísticos no ofrecen una verificación en el sentido del positivismo lógico. La lógica de las pruebas de hipótesis estadísticas no es la de verificar si un hipótesis está bien; por lo contrario, la lógica es la de encontrar la probabilidad de obtener una muestra a largo plazo dado que la hipótesis nula es verdad (2003, pp. 10).

La verificación se convierte en la problemática central del método de la ciencia[...] el ideal de la ciencia es llegar a un sistema deductivo, es decir, un sistema de proposiciones cuyo núcleo central sean los enunciados universales a partir de los cuales poder hacer deducciones hipotéticas sobre fenómenos singulares como explicaciones tentativas que tendrán que ser sometidas a verificación (De la Garza Toledo, 1988, pp. 9).

[...] El proceso de verificación del hipotético deductivo no termina en la definición de indicadores, sino que ahora estos indicadores deben permitir construir un enunciado singular que es el que se somete a observación (De la Garza Toledo, 1988, pp.10).

De acuerdo a Yu, este tipo de aseveraciones es el que fomenta las confusiones entre métodos cuantitativos y positivismo; pues de hecho, tal y como lo describe, entre la epistemología positivista y ciertas metodologías cuantitativas, se dan rotundas incompatibilidades.

De acuerdo al positivismo lógico, un enunciado no tiene significado si su verificación no es posible o si los criterios para su verificación no son claros. Esta noción puede ser aplicada en una manera tan radical que aseveraciones morales, estéticas y religiosas son consideradas como no verificables y por lo tanto sin significado [...] El principio de verificación puede incluso ir más allá y ver a la estadística como algo sin significado[...] Si el criterio de verificación se basa en evidencia empírica, las matemáticas, incluyendo a la estadística, que no puede ser confirmadas[...] por la experiencia, pueden entonces interpretarse como algo sin sentido [...] (2003, pp.9).

Sin embargo, en la tradición de la investigación cuantitativa, no hay indicios de que algún investigador cuantitativo destacado se suscriba a esta epistemología radical (*idem*, pp.10).

Esto, sin embargo, no es un aspecto que se haya tomado en cuenta por algunos investigadores sociales. En De la Garza (1988) puede apreciarse cierta interpretación en la cual la ciencia tiene métodos muy rígidos, describiendo a éstos como aquellos que adoptó el Círculo de Viena.

El hipotético deductivo ha sido presentado como El Método de la Ciencia, aparentemente desligado de toda consideración ontológica acerca de la realidad y de la forma de hacer conocimiento. Su nivel de sistematización y de rigor lógico lo han convertido [...], en el paradigma dominante de la metodología de la ciencia en el siglo XX (pp. 9).

Con respecto a esto, Yu responde algo completamente distinto y hace referencia al malentendido que se ha dado en la investigación cualitativa:

[...] el positivismo lógico restringe la realidad a lo observable, rechaza inferencias causales, y le resta importancia a la explicación. Por lo tanto, los positivistas lógicos son escépticos de lo no observable y de las entidades teóricas como las variables latentes o los factores. Algunos investigadores cualitativos hicieron una asociación entre la investigación cuantitativa y el positivismo lógico como un sinónimo del paradigma científico. De hecho, el positivismo lógico no es el paradigma científico moderno debido a que los científicos modernos se han alejado de la posición del positivismo lógico en relación a la negación de entidades teóricas. Por ejemplo, en una discusión sobre la existencia de un núcleo dentro de un electrón, Schlick [...] rechazó explícitamente a entidades teóricas no observables. Obviamente, este enfoque entorpece a los científicos para explorar el mundo subatómico. No hay duda de por qué Weinberg [...] argumentó que el desarrollo de la física en el siglo XX se vio atrasado por físicos que tomaron al positivismo seriamente y que por ende no podían creer en los átomos, sin mencionar a los electrones o a partículas más pequeñas (pp.19).

De hecho, fue el filósofo analítico británico Alfred Jules Ayer quien introdujo y popularizó al positivismo lógico en el Reino Unido durante las primeras décadas del siglo XX. Alfred Ayer se convirtió en un miembro del Círculo de Viena desde muy temprana edad bajo la directa invitación de uno de los fundadores del grupo, Moritz Schlick. Durante una entrevista en televisión (Magee, 1978), al ser cuestionado sobre los defectos que pudo haber tenido el movimiento del Círculo de Viena, Ayer dijo “supongo que la mayoría de los defectos tienen que ver con que casi todo (lo que se discutía el movimiento) era falso”. El comentario desató carcajadas entre el mismo Ayer y el anfitrión de la transmisión.

“En primer lugar, el principio de verificación nunca logró ser formulado adecuadamente [...]; luego, el reduccionismo simplemente no funciona. No puedes reducir enunciados [...], ni siquiera [...] simples y ordinarios enunciados sobre estuches para cigarrillos, vasos y ceniceros; mucho menos [...] aseveraciones sobre la ciencia” (Magee, 1978), dijo el filósofo mientras fumaba un cigarrillo y señalaba los objetos que estaban a su alrededor^{14*}.

En este sentido, el empirismo lógico es un ejemplo histórico de un intento fallido por sistematizar el lenguaje y metodologías científicas; y por ello, caer en una actitud parecida no sólo genera incredulidad sino que implicaría revivir un esfuerzo anterior en cuanto a delimitar qué implica la generación de conocimientos estrictamente científicos y qué no.

Este tipo de discusión, al parecer, incita a algunos a pensar o engancharse en discusiones relacionadas a que “hay formas específicas de generar conocimientos”, insinuando que el hecho de conocer sobre algo implica, por lo tanto, una “construcción” o una “teorización”, como si se tratara de una relación unilateral en la que “los investigadores generan teorías sobre el mundo independientemente del mundo”, en vez de generar explicaciones dado que existe el mundo y que éste tiene ciertas características ajenas a la voluntad de las personas. Parece ser que el hecho de que haya existido un movimiento filosófico como el del Círculo

14 En capítulos anteriores se hizo mención sobre algunas ideas de Hugo Zemelman. Este personaje ha dicho que el ritmo de la construcción de teorías puede ser mucho menor al ritmo en el que la realidad cambia, independientemente de si se trata de posturas dominantes o no. En este sentido, de la Garza escribió en 1988 sobre el positivismo como un paradigma dominante y en 1878 Alfred Ayer ya había hablado de lo obsoleto que éste era. Asimismo, en su crítica al positivismo y al paradigma científico, De la Garza cita una traducción al castellano del libro de Karl Popper “La lógica de la investigación científica” publicada en el inicio de los años setenta, pero el libro fue publicado originalmente en 1934 en Viena. Entre 1934 y 1970 ya se había descubierto el código genético, se habían dado los pasos precursores para el internet, se habían ya desarrollado modelos de redes neuronales artificiales y ya se había usado celdas solares para dotar de electricidad a satélites espaciales. Todas estas tecnologías surgieron independientemente del paradigma sobre la verificación o falsificación de teorías. Las investigaciones que permitieron la materialización de dichas tecnologías pueden describirse mejor como un proceso de prueba y error, en oposición a un proceso parecido al que los filósofos de la ciencia que fueron miembros o cercanos al Círculo de Viena quisieron establecer.

En la entrevista a Ayer, el filósofo confiesa que el empirismo lógico, en su época, resultó como un movimiento muy atractivo para la población joven en Inglaterra, pues éste se posicionaba como una alternativa a “la hipocresía victoriana” que había fungido como el establecimiento político por varios años; en este sentido, la corriente del positivismo “mostraba las cosas como son”. Lo irónico de esta confesión es que, contemporáneamente, el positivismo puede llegar a ser el antagonista por excelencia en entornos intelectuales y universidades; “el villano favorito”. Una actitud positivista puede llegar a asociarse con el tipo de ciencia que hacen las esferas de poder y ciertas instituciones económicas como el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial ante las cuales los universitarios se oponen y se manifiestan.

de Viena, ha provocado que muchas personas insistan en renegar con vehemencia de todo lo que remotamente se parezca a una actitud científica que trate de estudiar hechos sobre el mundo sensible. Ésta suele ser una actitud recurrente que adquieren algunos investigadores sociales la cual, parecería, insiste en una tajante separación entre ciencias sociales y ciencias exactas.

Por supuesto que lo dicho anteriormente puede evocar semejanzas relacionadas al debate en cuanto a si la realidad es objetiva o subjetiva. El debate, hasta cierto punto, puede representar una trampa; si se objeta en concordancia a uno de los extremos opuestos diciendo que “la realidad es objetiva” se cae en un problema parecido al que se involucró la actividad del Círculo de Viena en el que, como ya se vio, por su inconsistencia y rigidez, incluso quienes fueron miembros llegan a desestimar tal forma de pensar.

Por otro lado, en el extremo opuesto, al decir que “la realidad es subjetiva”, entonces puede caerse en una actitud que desestime toda aseveración o intento por explicar algunas de las cualidades del mundo, pues dado que “la realidad es subjetiva” no se puede aseverar ningún hecho o ningún aspecto objetivo sobre el mundo aun cuando existan aspectos sumamente evidentes, como el hecho de que los objetos siempre caigan por la fuerza que ejerce la gravedad, o como el hecho de que, en la mayoría de los casos, un solo ciclo en el movimiento de rotación de la Tierra tenga una duración aproximada a las 24 horas. Este tipo de fenómenos aluden a hechos que la humanidad, en general, conoce independientemente del criterio subjetivo de cualquier persona que quiera negarlos.

En este sentido, y en especial relación con respecto a interpretar la totalidad del quehacer científico como un producto de la filosofía positivista, se cae en el riesgo de categorizar erróneamente todo aquello que surja como el resultado de la investigación de biólogos, físicos, químicos o de cualquier otra disciplina científica. Esto, por lo tanto, puede generar segregación, incredulidad, prejuicio y la incapacidad de cooperar entre diferentes disciplinas. En relación a esto, considérese la siguiente aseveración en relación a la concepción de ciertas disciplinas como meros productos del positivismo lógico:

[...] la corriente que en el historicismo ofrece resistencia al positivismo de la época, a lo sumo hace tímidas críticas con respecto a la ciencia

natural, dejando todo este inmenso y rico campo de reflexión también al positivismo (De la Garza, 1988, pp.13).

De lo anterior se pueden cuestionar dos cosas. La primera es si, en efecto, toda disciplina que estudia al mundo natural realmente se suscribe a los modos y métodos del positivismo lógico, lo cual es sumamente improbable. Lo segundo es que, aún si fuese el caso que las ciencias naturales pertenecen a dicha corriente, ¿acaso habría sido diferente cualquier hallazgo científico si el historicismo u otro tipo de disciplina hubiesen estudiado el mundo natural a detalle? ¿Se llegaría a la misma conclusión en cuanto a si las especies en el reino animal surgen como consecuencia de la evolución por selección natural? ¿Acaso bajo otra “construcción epistemológica” el H₂O adquiriría estados distintos al líquido, sólido y gaseoso? Tal y como se citó a John Wilkins en un capítulo anterior, a veces puede ser muy pretenciosa la actividad filosófica pues puede darse el caso de que cada corriente presuma tener una interpretación del mundo *sui géneris*. Difícil resulta creer que tanta subjetividad podría alterar al mundo sensible al que los seres humanos estamos expuestos.

Una interpretación sobre la realidad como una mera “construcción subjetiva” resulta ser también inconsistente; e incluso, podría argumentarse que se trata, por ende, de una actitud parecida a la del empirismo lógico en cuanto a que se tiene una interpretación muy rígida sobre lo que es y lo que no es. Si “El fracaso del positivismo queda sintetizado en la incapacidad de reducir la investigación científica a una simple lógica” (De la Garza, 1988, pp. 15) ¿por qué simplificar la interpretación de la realidad, trátase de la propia o de la de otros, de manera binaria? ¿Por qué forzosamente relacionar la noción de realidad o con una condición objetiva o con una condición subjetiva? Y ¿por qué reducir el quehacer de una gran diversidad de disciplinas y su devenir histórico a una sola “propuesta epistemológica”, por cierto obsoleta, como lo fue el positivismo lógico?

Asimismo, ¿qué sucede con aseveraciones del tipo “no existen leyes universales y objetivas pues la realidad es dinámica” ¿Acaso ésa no es una aseveración que se plantea como un hecho y que, en caso de ser verdad, es objetivo? Si se insiste en una especie de antagonismo con respecto a la “objetividad” o “subjetividad” de las cosas, entonces sólo se prolongará la discrepancia en vez de ejercitar aspectos subjetivos como la creatividad de las personas

para atender y estudiar problemas que podrían considerarse objetivos, como los problemas ambientales y económicos a los que se enfrentan varios sectores de la población del mundo. Incluso, relativizar la objetividad en torno al calentamiento global o a la falta de distribución en el ingreso pueden resultar convenientes para quienes buscan lucrar a expensas de esos problemas.

¿Cuál podría ser entonces la resolución para la discrepancia ante el cuestionamiento sobre si la realidad es objetiva o subjetiva? Una respuesta tal vez poco convincente es “las dos”. En el mundo en el que los seres humanos han tenido que sobrevivir y convivir existen aspectos que podrían denominarse objetivos así como también subjetivos. En las palabras del historiador Yuval Noah Harari (2015):

Nosotros los humanos controlamos al mundo porque vivimos en una realidad dual, todos los demás animales viven en una realidad objetiva [...] a lo largo de los siglos, hemos construido encima de esta realidad objetiva una segunda capa de realidad ficticia [...] hecha de entidades ficticias como las naciones, los dioses, el dinero, las corporaciones [...]; a medida que la historia se ha desenvuelto, esta realidad ficticia, se volvió más y más poderosa de tal modo que las fuerzas más poderosas del mundo son entidades ficticias. Hoy, la mera sobrevivencia de ríos, árboles, leones y elefantes depende de las decisiones y deseos de entidades ficticias como los Estados Unidos, *Google*, (o) el Banco Mundial; entidades que solamente existen en nuestra propia imaginación.

Dada esta interpretación, el rol del quehacer científico no es el de limitarse a una estructura y esperar que el mundo se comporte de tal manera. Podría ser de mayor utilidad la cooperación entre investigadores en ausencia de una rivalidad y antagonismo sobre cómo debe de interpretarse al mundo. Harari en este sentido dice que “todos los grandes logros de la especie humana a lo largo de la historia, ya sea la construcción de pirámides o volar a la luna, se han basado, no en habilidades individuales sino en la habilidad para cooperar flexiblemente en grandes números”^{15*} (Harari, 2015).

Probablemente, uno de los problemas en las disciplinas sociales es que el mismo concepto

15 Sin embargo, Harari también menciona que gran parte de las injusticias humanas y catástrofes son por igual productos de la cooperación en gran escala.

de “ciencia” se interprete de igual modo a como lo quisieron establecer algunos filósofos de antaño; un riesgo inherente a esto es que se de por sentado que, tanto actualmente como en la historia del quehacer científico, hablar de ciencia implica un inalterable compromiso en cuanto a cómo se debe de estudiar, interpretar y transmitir ideas sobre fenómenos reales. No es nada novedoso decir que tal discusión no condujo a ningún lado en lo absoluto.

Contrariamente, la palabra ciencia puede hacer alusión a la cooperación en la investigación para intentar resolver problemas sociales a través de la búsqueda de enfoques innovadores. La ciencia, por ende, no debe de verse como un paradigma que busca encontrar “la verdad absoluta”, sino como una actitud proclive a la indagación y la experimentación en oposición a la teorización por sí misma. Como conclusión en torno a esta discusión, es precisamente a través de la mezcla entre enfoques que puede fomentarse algunos cambios e innovaciones sobre cómo estudiar fenómenos inherentemente complejos.

Tal vez resulte difícil promover esto de manera instantánea pues muchas tradiciones están ya establecidas; e incluso, muchas tradiciones tienen como fundamento la crítica y el posicionamiento en contra de ciertos paradigmas que consideran dañinos. Esto, sin embargo, no tiene por qué limitar la actividad de otras investigaciones; sobre todo si éstas se inspiran en la curiosidad y el deseo de generar mejores condiciones de vida tanto para la humanidad como para otras formas de vida.

III.4 Ejemplos de cooperación multidisciplinaria: el caso de los modelos basados en agentes para el estudio de fenómenos complejos y su contraste con los modelos económicos ortodoxos

En párrafos anteriores se emitieron algunas críticas a ideas sobre positivismo y ciencia, particularmente a ideas emitidas por el sociólogo Enrique de la Garza. Estas críticas no se presentan como un ataque exclusivo hacia sus ideas, sino como una crítica hacia un modo de pensar que, hasta cierto grado, es general en algunos contextos de la investigación social como puede ser el caso de la aplicación de métodos cualitativos, así como en el quehacer

filosófico como método de construcción de teoría social^{16*}.

No obstante, en concordancia con un ímpetu por fomentar una mezcla entre disciplinas, sobre todo entre ciencias “duras” y ciencias sociales; existen algunas ideas específicas de este autor que no sólo exhiben una gran capacidad pragmática para la interpretación y el estudio de fenómenos sociales, éstas también se asemejan al tipo de actitud que caracteriza a la investigación en torno a las teorías de la complejidad y la noción de sistemas adaptativos complejos.

Dado que tales nociones se abstienen, precisamente, de apearse a definiciones concretas y rígidas; éstas, por lo tanto, se abastecen de una diversa red de conceptos e interconexiones teóricas para estudiar tanto fenómenos naturales como sociales. Relacionado a esto, De la Garza (1988), en cuanto a la idea de que la realidad está sometida a “leyes”, comenta que la noción de “ley” no es una que necesariamente deba de desecharse, sin embargo, prefiere optar por el término “legalidad potencial”.

Sobre todo si se piensa en que la realidad se estructura y se reestructura por niveles de realidad y en esta medida la teoría que da cuenta de esa realidad no puede sino estructurarse por niveles de abstracción, dando cuenta de las estructuras en una coyuntura determinada así como su proceso de cambio y potencialidades de transformación. Lo anterior conduce a replantear el carácter de la teoría[...] para considerarla como complejo conceptual en una relación compleja por niveles de abstracción y en donde el cambio de nivel de abstracción resulta de operaciones lógicas, pero también de la ubicación histórica del concepto.

[...] en esta medida la ley resulta ser siempre una ley de tendencia sujeta a otras determinaciones en cuanto a su operancia en el mundo empírico, entre ellas, por supuesto, la acción y voluntad de los sujetos involucrados en el proceso (pp. 16).

16 En capítulos anteriores se discutieron otros ejemplos de cómo algunas ideas en la filosofía y literatura han ejercido una fuerte influencia en las ciencias sociales y en la economía. Mucho de este ímpetu implica una actitud reacia a los estudios cuantitativos; algunos argumentos persiguen una justificación ética en la que estudiar fenómenos naturales de manera cuantitativa es igual a “ultrajarla” o “dominarla”. De igual modo, el movimiento que responde al nombre de post-modernismo ha popularizado una actitud en contra de la ciencia e, igualmente, asocia a ésta y al quehacer cuantitativo con el positivismo.

De lo anterior se pueden sintetizar tres ideas fundamentales. La primera es que la lógica de una teoría no es la de deducir verdades a través de axiomas sino la de describir a través de la articulación y de la coherencia entre conceptos; la segunda es que toda estructura social es susceptible a transformaciones provocadas por las acciones de los sujetos; y la tercera es que tanto las transformaciones como las acciones de los sujetos están a su vez determinadas por cierto entorno o contexto ya dado, como por ejemplo el mundo físico. ¿De qué manera se puede estructurar esto para esclarecer su significado y utilidad en el estudio de fenómenos complejos y sociales? La propuesta en relación a esto es mediante la exposición de algunos ejemplos que han promovido la multidisciplinariedad en investigaciones sobre fenómenos considerados complejos.

En relación a lo anterior, existe una técnica particular que es posible a partir de innovaciones y avances recientes en la ciencia computacional. Esta técnica no se apega a una serie de pasos concretos, pero sí se abastece del uso de lógica y programación para simular fenómenos sociales. En general, esta técnica recibe el nombre de “modelos basados en agentes”; en estos modelos se parte de una concepción de la realidad como una que está compuesta de sujetos o agentes, y el cambio tanto o establecimiento de estructuras sociales como del entorno en el que éstos se encuentran puede darse por el resultado de su interacción.

La popularidad de los modelos basados en agentes ha aumentado considerablemente a lo largo de las últimas décadas, pues se percibe en éstos cierto potencial que permite la reconciliación entre la innecesaria disputa entre ciencias “duras” y ciencias “blandas”, así como una dinámica de trabajo proclive a los métodos mixtos y a enfoques innovadores en la investigación. De igual manera, pensar en las ciencias sociales como algo separado de las ciencias “duras” puede entenderse como algo fuera de lugar; pues, debido a la complejidad que caracteriza a los sistemas sociales, son las ciencias sociales entonces las ciencias “duras”, particularmente si se reconoce que las metodologías y técnicas clásicas de las ciencias “exactas” no son ya del todo útil para el estudio de sistemas sociales, siendo necesario entonces el uso de métodos diferentes. (Kohler, 2000).

Relacionado a la discusión del apartado anterior en torno al quehacer científico y la

verificación o falsificación de teorías; el geógrafo Michael Batty, uno de los investigadores más reconocidos y citados por sus investigaciones en relación a la simulación basada en agentes así como por la aplicación de éstos para el estudio de espacios urbanos, comenta lo siguiente en relación a este tipo de modelos.

[...] los modelos basados en agentes rompen la regla básica de la ciencia que dice que las teorías deben ser parsimoniosas -tan simples como sean posibles- y que una teoría o modelo es mejor que cualquier otra si ésta se comporta igual pero es más simple; ésta es la navaja de Occam. De hecho, el argumento para los modelos basados en agentes es el contrario. Para muchos sistemas, tenemos hipótesis plausibles pero no comprobables sobre cómo creemos que el sistema funciona, y si excluimos a éstas simplemente porque no podemos comprobarlas con datos, entonces somos culpables de distorsionar nuestra teoría simplemente por la conveniencia de no poder comprobarla usando métodos clásicos: con datos independientes. Este problema es de enorme significancia pues pone en duda el proceso entero de desarrollar y poner a prueba modelos de sistemas geográficos, y ciertamente el de comprobar, validar y falsificar cualquier teoría.

En este sentido, los modelos basados en agentes parten de ciertos principios ontológicos. Es decir, parten de que existen ciertos aspectos inherentes a la realidad y esto permite hacer modelos o representaciones sin verse en la necesidad de adoptar técnicas estadísticas convencionales y “supuestos simplificadores”. Mencionar esto cobra relevancia si se reitera que muchos modelos en la economía ortodoxa han tenido que reducir y simplificar sus objetos de estudio a concepciones completamente irreales; esto se ha hecho priorizando la lógica de las técnicas matemáticas disponibles ante aspectos perceptibles y observables en la realidad. En cambio, los modelos basados en agentes buscan priorizar la lógica a la que pueden someterse los fenómenos estudiados, y luego ajustar a éstos un conjunto de técnicas y representaciones que ayuden a captar su lógica; de este modo cuando se comunica un modelo se procura también no estar transmitiendo una mentira.

Para esto, entiéndase el término lógica como el espacio de lo posible. A modo de ejemplo,

es ilógico inhalar y exhalar al mismo tiempo^{17*}; asimismo, algo ilógico sería hablar de que un objeto tiene dos propiedades contradictorias al mismo tiempo, como decir que el objeto se encuentra en movimiento y se encuentra estático al mismo tiempo.

Por ello, algunos modelos económicos de los cuales se deduce que existen “agentes homogéneos con racionalidad perfecta”, “simetría en la información de los mercados” o “precios de equilibrio” son completamente ilógicos; y la única razón por la cual se hacen estos supuestos es para que los resultados analíticos obtenidos de ciertos sistemas de ecuaciones, así como de operaciones como derivadas e integrales, parezcan consistentes aun cuando estas técnicas matemáticas puedan ser completamente inadecuadas para representar fenómenos sociales y económicos.

El economista Paul Romer, por ejemplo, critica que, en la economía ortodoxa, se ha vuelto una convención que las matemáticas se usen de un modo que, al parecer, sólo busca impregnar a las investigaciones con la “cientificidad” necesaria para que éstas parezcan trabajos serios. En este sentido, varios artículos “científicos” se ven atiborrados de matemáticas aun cuando los símbolos y expresiones realmente no mapean a algo en concreto. Romer hace explícito que esto es un problema, pues son tantos los casos en este respecto que la credibilidad de estudios sensatos puede cuestionarse en cuanto un lector vea símbolos extraños; y así, cualquier estudio económico puede parecer una pérdida de tiempo (2015).

Andreas Pyka y Giorgio Fagiolo critican que, en la ortodoxia, los modelos prioricen la capacidad de ser resueltos analíticamente a costa de que no exista una clara intuición o interpretación económica detrás de esos resultados. E incluso, a veces se trabaja al revés, es decir, se construye un modelo y se resuelve a éste para luego ajustar supuestos que hagan que el modelo sea convincente. De este modo, surgen entonces supuestos irreales como la “racionalidad perfecta de los agentes”, o que “los bienes en un mercado son gratuitos”^{18*}

17 Si esto no es lo suficientemente convincente, se le exhorta al lector intentar hacer las dos cosas al mismo tiempo

18 Pyka y Fagiolo dan un ejemplo concreto de cómo el uso de cálculo infinitesimal puede tener detalles cuya interpretación resulta muy difícil, este es el caso de algunos modelos en los que la tercera derivada de una función de utilidad tiene un signo negativo. Una función de utilidad pondría a la utilidad como una

(2005).

Otra convención en la economía ortodoxa es la de apoyarse de técnicas de regresión estadísticas que consisten en ajustar una función analítica a un conjunto de datos empíricos; en la disciplina económica esto recibe el nombre de econometría. *A grosso modo*, una confianza excesiva en este tipo de métodos puede llevar a sacar conclusiones sobre la realidad a partir de un simple conjunto de números. Dicho de otro modo, la econometría puede ser tendenciosa a generar interpretaciones sobre aspectos de la realidad sólo porque la lógica de los métodos estadísticos así lo sugiere, y no porque el fenómeno estudiado se comporte realmente como la regresión estadística insinúa.

El estadista Francis Anscombe (1973) publicó un artículo en la década de los setenta en el que señaló cómo cuatro series de datos completamente diferentes podían dar los mismos resultados estadísticos tanto descriptiva como inferencialmente hablando. Anscombe sugirió, desde ese entonces, prestar mayor importancia a la visualización de datos en vez de confiar únicamente en indicadores estadísticos como método para sacar conclusiones en cualquier investigación cuantitativa. A la serie de datos se le conoce como “el cuarteto de Anscombe”, y éste sirve como un recordatorio de lo engañoso que pueden ser algunas técnicas cuantitativas.

En este sentido, existen regresiones que pueden presentar un muy buen ajuste pero los datos que la respaldan son ridículas; un buen ejemplo de esto son los datos de 1930 a 1936 en los que el número de cigüeñas observadas en la ciudad de Oldenburg en Alemania estuvo correlacionada de manera positiva con la población de esta misma ciudad (Box,

variable estimable a partir de la cantidad consumida de un bien; la primera derivada podría interpretarse como la tasa de cambio instantánea en la utilidad a medida que cambia el consumo, y la segunda derivada podría entonces señalar si dicha tasa crece o disminuye a tasas crecientes o a tasas decrecientes, sin embargo, la interpretación de la tercera derivada sería algo muy forzado. Ante esto los autores cuestionan el uso de técnicas analíticas en general y se preguntan “¿Cuál es la intuición económica detrás de este resultado?” (2005, pp. 5). En un fenómeno mecánico, cuando un objeto es desplazado por una fuerza, en una función analítica que observe tiempo y distancia; la primera derivada podría interpretarse como la velocidad del objeto, la segunda derivada como la aceleración del objeto y la tercera sería la sobreaceleración, es decir, la tasa de cambio de la aceleración. El caso señalado por Pyka y Fagiolo es un ejemplo más de que la economía ortodoxa a tratado de imitar las metodologías de las que se ha apoyado la física mecánica para explicar fenómenos naturales; sin embargo, ni los sistemas económicos ni el comportamiento de los agentes puede reducirse a leyes mecánicas.

Hunter & Hunter, 2005). Esto, por supuesto, no quiere decir que los nacimientos de los infantes de la especie *homo sapiens* son traídos por las cigüeñas; el mero sentido común previene a cualquier individuo a sacar una conclusión así sólo porque un modelo econométrico sugiere esa interpretación.

Pero si tal caso, así como muchas otras correlaciones espurias^{19*}, hace evidente que no hay una causalidad entre el número de cigüeñas y los nacimientos humanos ¿cómo notar la diferencia con cualquier otro conjunto de variables? Cualquier economista respondería que es la sensatez, el criterio y la interpretación del investigador la que cuenta; en ese sentido, puede ser apropiado también aplicar la sensatez y el criterio para usar otras técnicas cuantitativas en vez de sólo ajustar datos a una línea. Actualmente existen muchas otras cosas que se pueden hacer; los economistas Susan Athey y Guido Imbens (2015), por ejemplo, proponen el uso de varias técnicas que reciben el nombre de aprendizaje de máquinas (*machine learning*) para estudiar efectos causales en políticas públicas; dentro del aprendizaje de máquinas tanto la regresión lineal como la regresión paramétrica son algunas de muchas técnicas. Sumado a esto, como alternativa a la ortodoxia, están también los modelos basados en agentes, por supuesto.

19 Varios ejemplos sobre correlación espuria pueden apreciarse en el sitio “tylervigen.com”. Algunos casos son sumamente irónicos, como el ajuste entre “número de personas que murieron ahogados en una piscina” y “número de películas en las que aparece Nicholas Cage” entre 1999 y 2009; o también el ajuste entre “consumo de queso *per cápita*” y “número de personas que murieron enrollados entre sus sábanas” del año 2000 a 2009.

Gráfica III.1 Cuarteto de Anscombe

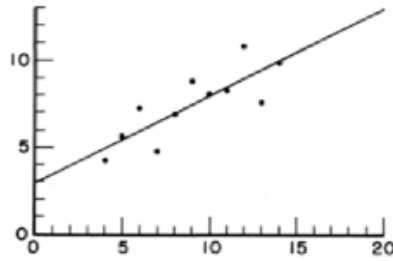


Figure 1

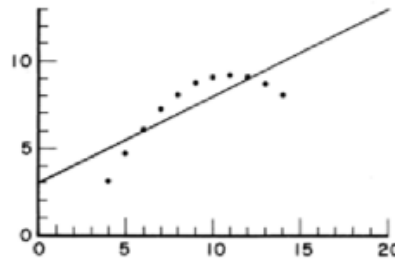


Figure 2

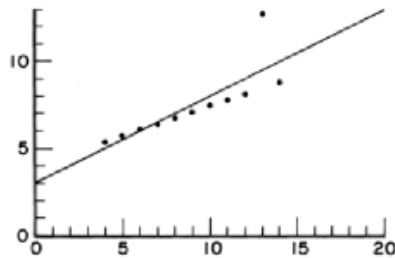


Figure 3

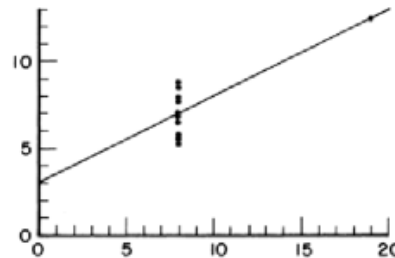


Figure 4

Data set	1-3	1	2	3	4	4
Variable	x	y	y	y	x	y
Obs. no. 1 :	10.0	8.04	9.14	7.46	8.0	6.58
2 :	8.0	6.95	8.14	6.77	8.0	5.76
3 :	13.0	7.58	8.74	12.74	8.0	7.71
4 :	9.0	8.81	8.77	7.11	8.0	8.84
5 :	11.0	8.33	9.26	7.81	8.0	8.47
6 :	14.0	9.96	8.10	8.84	8.0	7.04
7 :	6.0	7.24	6.13	6.08	8.0	5.25
8 :	4.0	4.26	3.10	5.39	19.0	12.50
9 :	12.0	10.84	9.13	8.15	8.0	5.56
10 :	7.0	4.82	7.26	6.42	8.0	7.91
11 :	5.0	5.68	4.74	5.73	8.0	6.89

TABLE. Four data sets, each comprising 11 (x, y) pairs.

Each of the four data sets yields the same standard output from a typical regression program, namely

Number of observations (n) = 11
 Mean of the x 's (\bar{x}) = 9.0
 Mean of the y 's (\bar{y}) = 7.5
 Regression coefficient (b_1) of y on x = 0.5
 Equation of regression line: $y = 3 + 0.5x$
 Sum of squares of $x - \bar{x}$ = 110.0
 Regression sum of squares = 27.50 (1 d.f.)
 Residual sum of squares of y = 13.75 (9 d.f.)
 Estimated standard error of b_1 = 0.118
 Multiple R^2 = 0.667

Fuente: Anscombe, 1973.

¿Pero qué diferencia hay entonces entre modelos ortodoxos y los modelos basados en agentes? ¿Acaso sus limitaciones no son parecidas por usar lógica y matemáticas? Afirmar lo anterior sería similar a decir que el Círculo de Viena e Immanuel Kant hablaban de lo mismo pues, a final de cuentas, se trata de “filosofía”. La distinción entre modelos multi-

agentes y modelos económicos ortodoxos está en lo que cada uno afirma que existe.

Para los modelos ortodoxos la población de agentes es homogénea y representativa, para los modelos multiagentes la diversidad y autonomía entre los miembros de la población es crucial^{20*}. En los primeros, los cambios se dan por la naturaleza de ciertas “leyes” predecibles e inalterables; mientras que en los segundos los cambios se entienden como lo dado dentro de un espectro acotado que contiene varios escenarios posibles. Asimismo, en los primeros se suele pasar por alto el hecho de que se den interacciones entre los agentes en el tiempo y espacio; en los segundos esto es un requerimiento lógico. Otra diferencia importante yace en que en la ortodoxia los modelos son analíticos, es decir, se entiende a un fenómeno como algo para lo cual puede hallarse una solución matemáticamente; los modelos basados en agentes, se basan en correr varias simulaciones y así explorar el espacio de posibilidades que puede darse al cambiar ciertos parámetros (Crooks & Heppenstall, 2012).

Actualmente existe una gran diversidad de modelos basados en agentes y un sinnúmero de aplicaciones; sin embargo, para esclarecer la utilidad de éstos y el potencial multidisciplinario se sintetizarán los resultados de tres casos en específico. Éstos se refieren a la investigación sobre la cultura de los *anazasi* que habitó en el valle *Long House* en Arizona; los modelos dinámicos de segregación étnica de Thomas Schelling; y una simulación que explora la idea general de cómo, a lo largo del tiempo, surgen y evolucionan comportamientos culturales específicos en una sociedad a partir de la interacción entre sus miembros y la interacción de éstos en un entorno.

III.4.1 Arqueología, etnografía y simulación: El caso de la cultura anasazi

El valle *Long House* se encuentra al noreste de Arizona, esta región estuvo habitada por la

20 En Crooks & Heppenstall (2012) se hace una síntesis de varios trabajos en los que se discute lo que puede representar un agente en estos modelos. De acuerdo a estos autores, las categorías básicas que suelen simularse en los agentes son autonomía, heterogeneidad, que persiguen metas, que son perceptivos, que tienen racionalidad acotada, que pueden interactuar y comunicarse, que cuentan con movilidad, y que pueden adaptarse y aprender.

cultura *kayenta anasazi* entre 1800 A.C y 1300 D.C. Existe mucha evidencia empírica sobre las condiciones climáticas de dicho periodo, esto ha permitido hacer estimaciones sobre la cantidad de maíz que producían los habitantes a lo largo de un año y, por ende, ha sido posible hacer estimaciones sobre el tamaño de la población a lo largo del tiempo (Axtel *et. al*, 2002; Jansen, 2009).

Gracias a estudios antropológicos, biológicos y etnográficos tanto de asentamientos de agricultores de la región así como otros que comparten las mismas características de subsistencia, se derivaron las características de los casamientos entre las personas, su demografía y sus requerimientos nutricionales. En cada hogar habitaban alrededor de cinco personas, y su sociedad era matriarcal. Se estima que alrededor del año 1300 el valle fue abandonado completamente debido a aspectos climatológicos como culturales. En dicho periodo se dio una prolongada sequía así como cierta erosión fluvial lo cual provocó una reducción sustancial de las tierras disponibles para la actividad agricultora, y a pesar de que en la región pudo aún haber subsistido alguna fracción de la población, se cree que la población en general decidió migrar (Dean *et. al*, 2000).

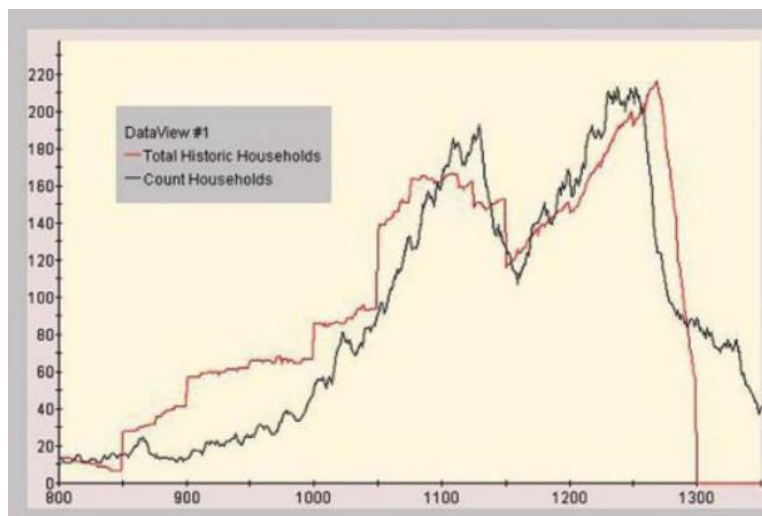
En el quehacer de cualquier investigación arqueológica siempre existirá la limitación de hacer experimentos para probar hipótesis por la simple razón de que es imposible rebobinar el tiempo. Cualquier historiador se enfrentará con la obvia imposibilidad de generar hipótesis para verificarlas, pero no por ello no se puede investigar cómo es que vivía un grupo humano particular en el pasado. La investigación en la arqueología es forzosamente materialista, pues es a través de analizar restos materiales, como el suelo u objetos, entre otras cosas, que es posible hacer una reconstrucción cercana a los eventos que ocurrieron en el pasado.

En el caso de la cultura *anasazi*; dados los vestigios arqueológicos, los estudios etnográficos y biológicos, y la reconstrucción climática a lo largo del tiempo se ha podido hacer un recuento de qué hicieron los miembros de esta cultura y por qué lo hicieron. De acuerdo a esto, las decisiones que tomaron estos pobladores en cuanto a dónde establecerse y dónde cultivar estaba estrechamente relacionado con la fertilidad del suelo y a qué tan cerca estaban los depósitos acuíferos. A lo largo del tiempo se dieron varias migraciones, y

estas tuvieron que ver con la necesidad de desplazarse dado que las condiciones climáticas cambiaban junto con la capacidad de producir alimentos y la disponibilidad de agua (Dean et al, 2000).

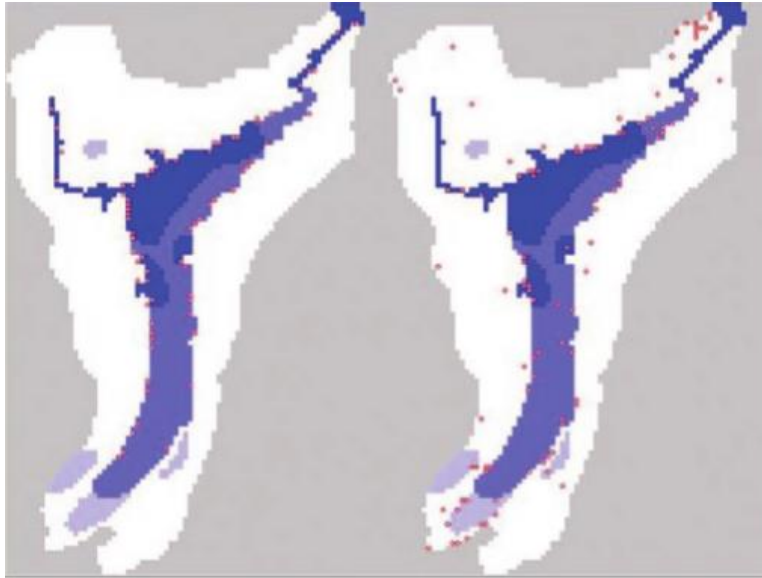
Las investigaciones concluyen con una reconstrucción sobre qué ocurrió en el valle a medida que cambiaron aspectos climáticos y sociales; la simulación, a su vez, buscó captar cómo aumentó y varió la población de la cultura *anasazi* a lo largo de estos cambios, y cómo las decisiones de los pobladores pudieron haber estado influenciadas tanto por las condiciones espaciales, los requerimientos nutricionales de la población y su modo de vida. El modelo, evidentemente, es una abstracción de lo que pudo haber sucedido. En éste se trata de incluir al valle como una topología sobre la cual interactúan agentes, y tanto las condiciones del lugar como el comportamiento de otros agentes influyen en la dinámica de los acontecimientos.

Gráfica III.2 Cantidad de hogares históricos y cantidad de hogares simulados (mejor ajuste)



Fuente: Axtell, R.L. *et al.* (2002).

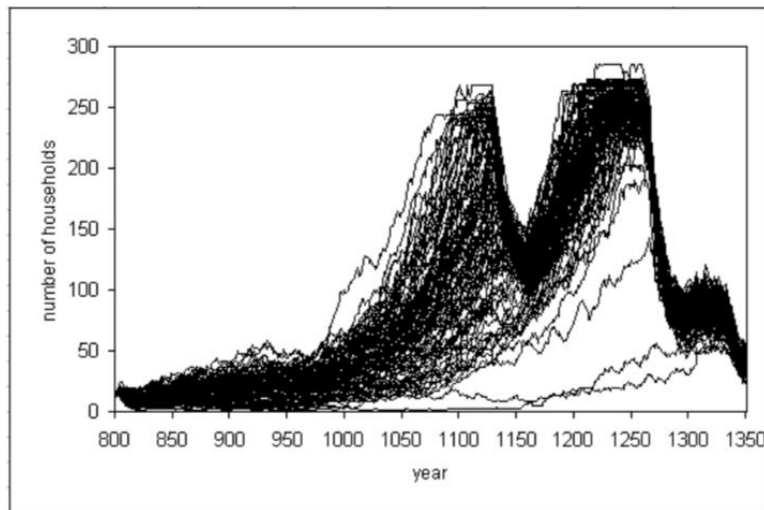
Gráfica III.3 Patrones de establecimientos simulados e históricos (en rojo), valle Long House 1125 A.C.



Fuente: Axtell, R.L. *et al.* (2002).

La simulación coincidió con la reconstrucción arqueológica, no obstante, ésta puede arrojar resultados diferentes dependiendo de si las condiciones iniciales son distintas, si se altera algún parámetro o si premeditadamente se modifica el modelo mientras la simulación está en curso. El modo en el que el modelo fue construido no trató de correr una sola simulación para tomar ésta como “la solución”; en vez, el modelo corre varias simulaciones para así observar qué pudo haber sido posible y qué tiene que ocurrir dentro del modelo para que los resultados que éste arroja sean similares a la evidencia que proporcionaron otros estudios.

Gráfica III.4 Resultado de 100 simulaciones con agentes



Fuente: Janssen, M.A. (2009).

Más que tratarse de un intento por verificar o “comprobar matemáticamente”, la reconstrucción de los hechos apoyada por los hallazgos arqueológicos busca la plausibilidad^{21*}. En este sentido, la simulación adquiere un rol experimental que intenta explorar el espacio de posibilidades históricas dado que en el valle se dieron ciertos acontecimientos climatológicos, y que los pobladores pudieron haber reaccionado de una u otra manera dada la topología de la región y sus condiciones climáticas.

En este caso, el modelo basado en agentes es una herramienta para hacer preguntas sobre fenómenos que simplemente no se pueden verificar a través de métodos clásicos. Se trata, por lo tanto, de un experimento que intenta “examinar la contribución relativa de factores internos y externos en la evolución socio-cultural” dadas las “limitaciones experimentales de la arqueología” (Dean, *et al.*, 2000, pp. 4).

21 En la colaboración de este modelo estuvieron presentes Robert Axtell y Joshua Epstein, quienes habían ya propuesto lógicas distintas para la representación de fenómenos económicos. Una de sus aportaciones más reconocidas es la de su modelo “*Sugarscape*”, con el cual se cuestiona y critica la plausibilidad de modelos ortodoxos como los de equilibrio general en la oferta y la demanda. Parte de la argumentación al respecto tiene que ver con que un sistema económico se compone de diversas personas y no de agentes representativos, que importan las condiciones iniciales para hablar de la inequidad en la distribución del ingreso (las personas que nacen con dinero son más propensas a permanecer con dinero) y el resultado dentro de un sistema está determinado por el desarrollo histórico y no por leyes generales.

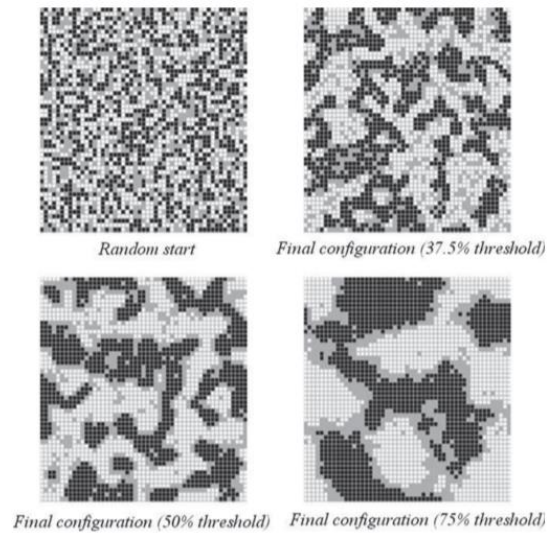
III.4.2 Modelo de segregación étnica en espacios urbanos

Thomas Schelling, quien fue galardonado con el premio Nobel en 2005, entre varios de sus trabajos se encuentran modelos dinámicos y espaciales de segregación étnica (1971). Schelling estaba interesado en las posibles razones por las cuales se dan notorias separaciones entre etnias en ciudades de Estados Unidos, formándose así distintos barrios y *ghettos*. Pueden ser muchas las razones por las cuales surgen estas estructuras residenciales, como racismo, afinidad étnica o religión; Schelling, en su modelo, generalizó todo tipo de causas y estableció como una categoría general a la intolerancia étnica.

De acuerdo a lo anterior, se concibe que la decisión de ciertas personas por residir en cierto vecindario puede depender de la cantidad de vecinos que son étnicamente similares. Si en cierto lugar, los residentes son muy tolerantes a la diversidad étnica se observaría poco dinamismo en la decisión de las personas por mudarse; en cambio, si son intolerantes se buscará residir en otro lugar en el que haya gente afín. Ésta puede ser una gran simplificación del fenómeno, sin embargo, a través de esta abstracción se reconocen ciertos “niveles de realidad” que al interactuar permiten observar diferentes resultados. A *grosso modo*, los principales aspectos de este modelo son el nivel de tolerancia o intolerancia étnica de los agentes, la decisión de mudarse o mantenerse en cierto vecindario y la distribución espacial de las diferentes etnias que se forma como resultado de este proceso.

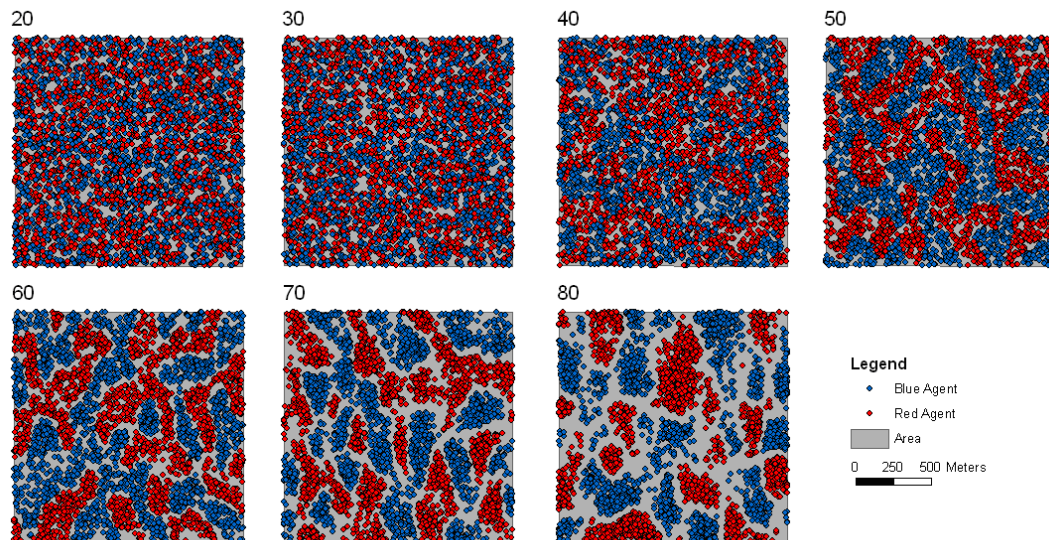
En este modelo puede darse un estado de equilibrio o de constante dinamismo dependiendo de la cantidad de agentes pertenecientes a cada etnia y su nivel de intolerancia. En este sentido, el resultado de las simulaciones puede variar considerablemente dependiendo de las características que se le asignen a los agentes; y, del mismo modo, la acción de un agente puede provocar que otros agentes reaccionen. Por ejemplo, si una persona es muy intolerante ante personas de otra etnia y un agente de tal etnia se muda a su vecindario, la primera persona podría decidir mudarse a otro vecindario, sin embargo, una vez que esta persona se haya mudado su llegada puede provocar que personas de otra etnia no toleren al nuevo residente lo cual, a su vez, puede incitarlos a mudarse. De esta manera es como se observa en el modelo un comportamiento que está constantemente en desequilibrio.

Gráfico III.5 Simulaciones de segregación étnica de acuerdo al modelo de Schelling



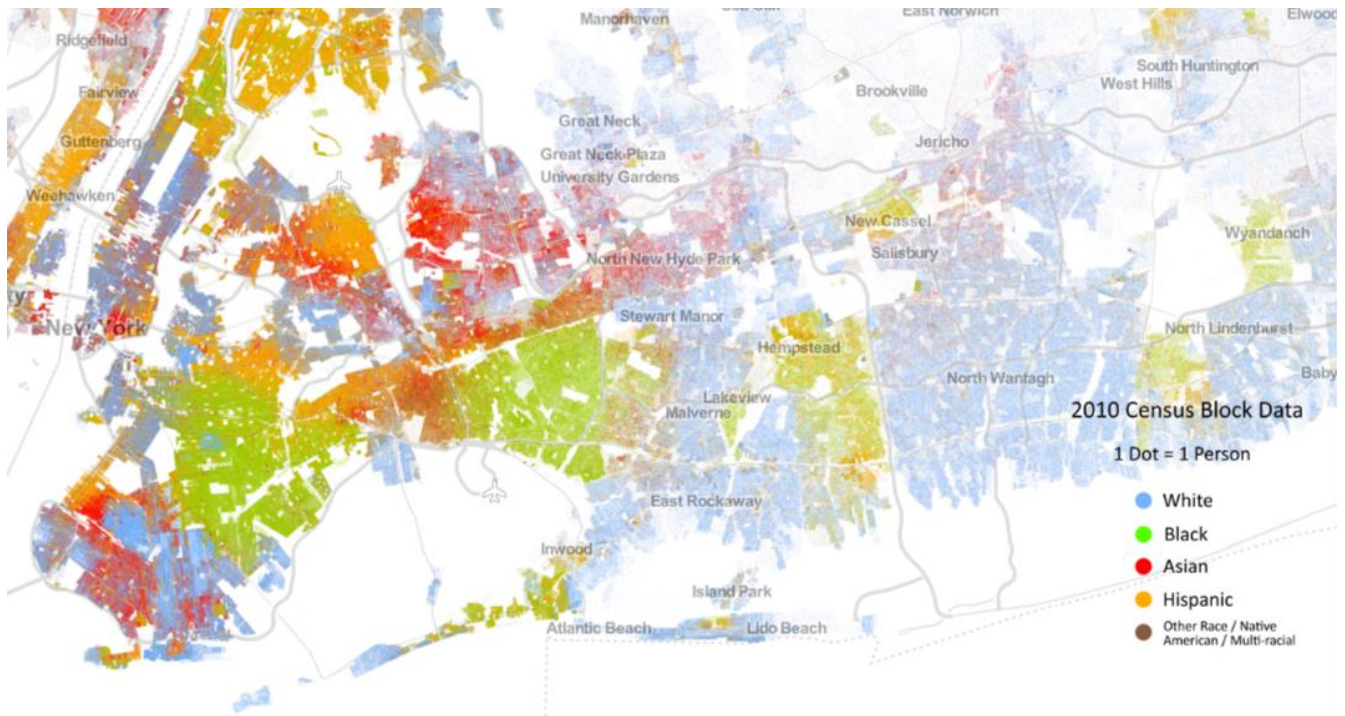
Fuente: Abdou, M., Hammil L. & Gilbert N. (2012).

Gráfica III.6 Simulaciones de segregación étnica de acuerdo al modelo de Schelling



Fuente: *Segregation ABM Vector GIS / Results / Models within Paper / Varying the Agents Preferences.* (s.f.).

Gráfica III.7 Segregación étnica en Nueva York de acuerdo a información censal de 2010



Fuente: The Racial Dot Map: One Dot Per Person for the Entire U.S. (s.f.).

III.4.3 Simulación y evolución cultural

Un estudio elaborado por psicólogos sociales analizó el rol de la transmisión cultural en migrantes en Israel que provenían de países que formaron parte de la Unión Soviética. El estudio observó que los niños migrantes estaban, estadísticamente, menos dispuestos a adoptar valores transmitidos por sus padres en comparación a los valores transmitidos por otros niños criados en Israel. Los autores del estudio interpretan estos resultados como una reacción ante el drástico cambio cultural al que se habían sometido; siendo que los valores y actitudes que podrían haberse considerado apropiados en sus países, ya no eran del todo “aptos” para un contexto completamente distinto (Knafo & Schwartz, 2001).

Acerbi y Parisi (2006) tomaron esta investigación como punto de referencia para hablar de

la importancia entre el aprendizaje inter-generacional e intra-generacional. El primero hace referencia a la transmisión cultural que se da de una generación de personas a la siguiente, mientras que el segundo se refiere a la transmisión cultural dentro de una misma generación. Para tratar el tema y explorar algunos planteamientos en relación a la evolución cultural en las sociedades, los autores hicieron un modelo basado en agentes.

El experimento consistió en simular un espacio en el que los agentes pudiesen adaptarse a las condiciones de éste para poder sobrevivir. La simulación implicó que los agentes tuvieran que alimentarse de dos tipos de hongos que se daban en el entorno, siendo uno de los tipos benigno y el otro venenoso. El mecanismo que se le dotó a los agentes tanto para poder tener “sensorialidad” como “aprendizaje” fue una red neuronal artificial. Este tipo de técnica funciona como una representación simplificada del cerebro, en el que las neuronas se conectan a otras y “disparan” una señal si reciben cierto estímulo por arriba de algún umbral establecido. Los algoritmos para construir una red neuronal se basan en encontrar la configuración entre las neuronas que mejor se ajuste a la resolución de algún problema en específico (Fausset, 1993).

Para el caso del modelo de Acerbi y Parisi, al inicio de la simulación los agentes cuentan con cierta “configuración neuronal” pero ésta se genera aleatoriamente entre la población simulada. Esto quiere decir que algunos “cerebros” son más aptos que otros, por lo que, por defecto, algunos agentes son más capaces para distinguir entre hongos benignos y hongos venenosos.

Aquellos agentes que reconocen mejor los hongos, se convierten en “maestros”; y dado que los agentes tienen la capacidad de reproducirse, los miembros de la nueva generación “aprenden” de los “maestros” a reconocer entre alimento benigno y dañino. La configuración de las redes neuronales de los “aprendices” se modifica a medida que pueden “observar” el comportamiento de los “maestros” y es así como se promueve el “aprendizaje” que puede ser transmitido de generación en generación para sostener la sobrevivencia a lo largo de varias generaciones.

Dado que la población tiene la capacidad de adaptarse al entorno mediante la transmisión

de enseñanza inter-generacional, es decir, de una generación a otra, la supervivencia puede darse si las condiciones del entorno se mantienen inalteradas. Sin embargo, los investigadores decidieron cambiar drásticamente la naturaleza del alimento para ver qué ocurría con la población una vez que se había adaptado no sólo al entorno sino a cierta dinámica de transmisión cultural. El cambio consistió en invertir la condición de los hongos; repentinamente, los hongos que eran benignos se convirtieron en hongos dañinos y viceversa.

El resultado fue, de cierto modo, previsible pues dado que la población se había adaptado para reconocer los hongos benignos y así sobrevivir, siendo éstos ahora dañinos, la población colapsó drásticamente. Los autores entonces decidieron involucrar parámetros más complejos a la simulación; decidieron incorporar la capacidad entre los agentes para poder “observar” y “aprender” de agentes dentro de una misma generación. Anteriormente, la transmisión cultural había únicamente sido inter-generacional, ahora la transmisión podía ser tanto inter-generacional como intrageneracional. En otras palabras, los agentes podían ahora aprender tanto de sus mayores como de sus semejantes.

Esto puede presentarse como algo poco intuitivo. ¿De qué serviría aprender de agentes que no tienen un comportamiento tan apto como el de los “maestros”? De acuerdo al modelo de Acerbi y Parisi, si el aprendizaje sólo se diera intrageneracionalmente sin tomar en cuenta el rol de los “maestros”, realmente no se está dando ninguna transmisión, pues los “aprendices”, al transmitir su propia incompetencia, prácticamente transmiten “ruido” y no un comportamiento moldeado y adaptado al contexto en el que se encuentran. Si, por lo contrario, se dan ambos tipos de transmisiones, la población de agentes logra adaptarse mejor tanto en un entorno en el que la naturaleza de los hongos permanece inalterada como en un contexto en el que se dan cambios drásticos.

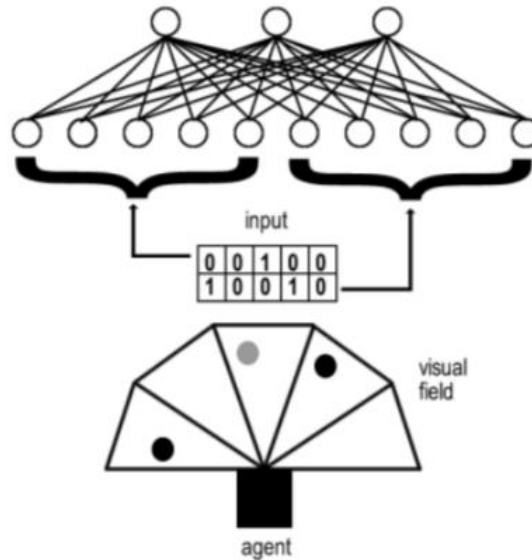
La lógica detrás de esto es que la transmisión de “maestros” a “aprendices” procura que el aprendizaje entre generaciones se dé y que, en efecto, lo que se transmita sea la adaptación y aprendizaje acumulado entre generaciones. Asimismo, la incorporación del aprendizaje entre una misma generación, si bien, puede a veces sólo representar “ruido”, también representa una especie de mutación en el tipo de comportamiento que se puede adoptar.

Dicho de otro modo, el hecho de que junto al aprendizaje acumulado se transmitan también ciertas variaciones hace que el espacio de posibilidades se torne más diverso; esto puede entenderse como cambios e innovaciones en un comportamiento que de lo contrario se transmitiría de manera más rígida e invariable.

Esta investigación se basa en una representación de la realidad sumamente abstracta, pero sin embargo, busca captar ciertas nociones sobre cómo se replica un comportamiento en una sociedad compuesta de agentes capaces de transmitir, observar y aprender. Lo que puede destacarse de los resultados de este experimento es que el resultado agregado de la población depende del comportamiento que se transmite entre sus miembros de generación en generación, y que ante cambios drásticos en el entorno la misma población puede adaptar su comportamiento si ésta cuenta con maneras para modificarlo. En este sentido, la diversidad juega un rol crucial en la adaptación ante contextos cambiantes; para sintetizar este punto, los investigadores lo explican de la siguiente manera.

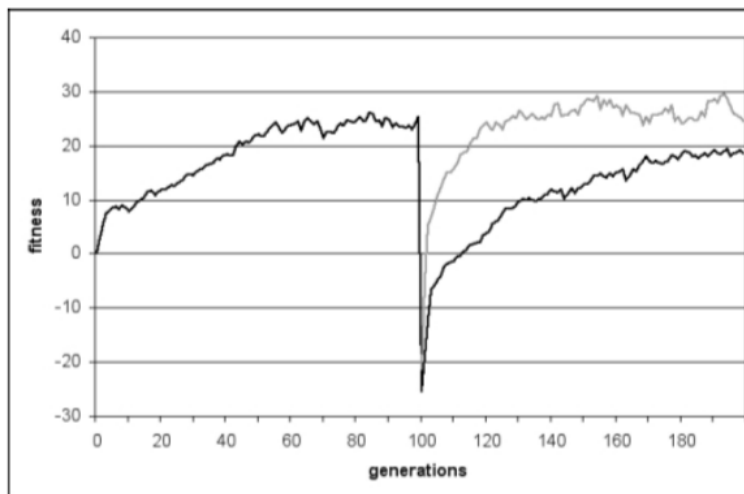
Nuestra hipótesis es que la transmisión horizontal es básicamente un modo de introducir ruido aleatorio en el proceso de transmisión cultural. Cuando el entorno permanece idéntico de una generación a la siguiente, este ruido aleatorio puede no ser necesario o puede ser dañino si es muy grande. Sin embargo, si el entorno cambia rápidamente, el ruido aleatorio introducido por la transmisión horizontal puede ser útil en tanto que éste sirve para eliminar comportamientos viejos que ya no son adaptativos y así crear condiciones para el surgimiento de nuevos comportamientos más adaptados al entorno que cambió. Este análisis puede ayudar a explicar el incremento en la relativa importancia de la transmisión cultural horizontal en sociedades que, como en las actuales sociedades económicamente desarrolladas, tienden a cambiar a un paso muy veloz (Acerbi & Parisi, 2006, p.2).

Gráfica III.8 Red neuronal y campo visual de los agentes para reconocer entre hongos benignos o venenosos (punto gris o negro)



Fuente: Acerbi, A. & Parisi, D. (2006).

Gráfica III.9 Simulación sin transmisión intra-generacional (línea negra) y simulación con ambas transmisiones (línea gris) con cambio drástico a partir de la generación número 100.



Fuente: Acerbi, A. & Parisi, D. (2006).

III.4.4 Modelos basados en agentes, sistemas de información geográfica y problemáticas urbanas

Anteriormente se hizo una breve síntesis de algunos ejemplos dentro de la literatura de los modelos basados en agentes que pueden considerarse como casos precursores y emblemáticos. Existen, sin embargo, muchas otras aplicaciones; como el uso de éstos para el estudio y teorización sobre la propagación y el aprendizaje del lenguaje hablado (Gilbert *et al.*, 2006) o la simulación para el entendimiento de la formaciones de estructuras sociales y el surgimiento de instituciones desde un punto de vista sociológico (Macy & Willer, 2001; Bianchi, 2012).

Como se ha mencionado, la motivación por usar modelos basados en agentes se da como un intento para estudiar fenómenos complejos en los que los resultados no están analíticamente determinados, sino que surgen por la interacción entre las partes de un sistema. Debido a esto, no necesariamente se darán siempre los mismos resultados en un modelo, ya que éstos dependen del comportamiento y retroalimentación que aportan las partes a la totalidad del sistema. En este sentido, los fenómenos complejos son fenómenos que tienen que ubicarse en el tiempo y el espacio, por lo que una teorización sumamente abstracta que ignore esto será un recurso de poca utilidad.

Del mismo modo, un aspecto relevante de los sistemas complejos, que puede simularse con modelos basados en agentes, es que, en ocasiones, bastan simples reglas de interacción a un nivel micro para producir patrones emergentes a un nivel macro. Este nivel macro, a su vez, incide en el nivel micro haciendo que la retroalimentación sea continua. De esta manera, un sistema puede siempre estar cambiando y entonces nunca entrar en un estado de equilibrio^{22*}. Ésta es una descripción que aplica contemporáneamente para el caso de las

22 En relación a los ejemplos descritos anteriormente, la dinámica micro y macro puede apreciarse al correr las simulaciones. En el caso de la cultura anasazi, las acciones locales de los pobladores inciden en el territorio lo cual provoca que éstos eventualmente tengan que migrar; esta migración vuelve a tener un impacto en el entorno el cual a su vez incide nuevamente en los pobladores. En el ejemplo de los modelos de segregación étnica, la decisión de algunos agentes por quedarse o cambiarse de vecindario depende de cuántos otros agentes similares hay en un determinado lugar; si un agente decide moverse a otro lugar, su decisión puede incidir en la estructura de otros vecindarios y provocar movimientos una y otra vez en distintos lugares. En el tercer ejemplo resulta más claro, la interacción de los agentes a través de la transmisión cultural genera un patrón en el comportamiento agregado de la población; los cambios drásticos en el entorno, como convertir a los hongos benignos en venenosos y viceversa, incide en los

ciudades, a las cuales se les puede interpretar como espacios en constante desequilibrio por la cantidad de acontecimientos que ocurren en ellos (Batty, 2015).

Las ciudades del siglo XXI son espacios extremadamente complejos, y es en éstos donde ocurre gran parte de la actividad económica contemporánea. En las urbes están los centros financieros más destacados, los mercados de bienes y servicios más grandes y dinámicos, y la gran mayoría de la producción global termina siendo consumida en las ciudades. Por estas razones, el estudio de la economía, sobre todo bajo la noción de desarrollo económico, difícilmente podrá captarse a través de un razonamiento basado en la lógica de los modelos analíticos de las teorías ortodoxas; sobre todo si éstas suelen ignorar aspectos como la heterogeneidad de los miembros en un sistema económico, así como la diversidad de sus interacciones en el tiempo y el espacio.^{23*}

Por estas razones, el uso de modelos basados en agentes *per se* puede verse también acotado y restringido. Si éstos contemplan únicamente aspectos teóricos o sumamente abstractos, su capacidad para ser aplicados a problemáticas y contextos reales será una simple aspiración. Para evitar esta limitación se han propuesto y desarrollado algunos modelos que se apoyan de sistemas de información geográfica, los cuales pueden definirse como *softwares* o programas que recuperan y exhiben información geográfica de territorios reales a través de computadoras.

Gracias a esto, los modelos basados en agentes han empezado a utilizarse para aplicaciones reales, tomando en cuenta que el diseño de éstos tiene que hacerse de acuerdo a la problemática y contexto específico del problema que se quiere representar (Batty, 2012).

agentes por lo cual estos tienen que adaptarse al nuevo contexto.

23 En los capítulos anteriores se problematizó la noción de “desarrollo económico” partiendo de que, por razones históricas, ésta no puede ser reducida a una fórmula generalizable que pueda ser aplicada en cualquier parte del planeta. Precisamente, ha sido el entendimiento de una fórmula o receta, como la que se estableció a partir de la Segunda Guerra Mundial, con la cual las instituciones de cooperación internacional y el sector financiero han promovido políticas que evidentemente han fallado. Muchas de estas políticas se han basado en construcciones teóricas que tienen como fundamento una lógica analítica en sus modelos; si se concibe a un sistema económico como un sistema complejo los modelos analíticos son entonces completamente obsoletos. Fue en el capítulo anterior donde se especificó, de acuerdo a la línea en que se ha manejado este trabajo, que la noción de desarrollo económico implica una transformación radical en los modos de producción y consumo de las ciudades, pues éstas se han convertido en uno de los principales problemas económica y ambientalmente hablando.

Como ejemplo de esto, se han construido modelos para estudiar la actividad criminal en ciudades como Leeds, Inglaterra (Malleon, 2012) y Río de Janeiro, Brasil (Pint, Crooks & Geller, 2010); en materia de salud, se han contemplado modelos para estudiar la transmisión y propagación de epidemias (Simoes, J.A., 2012) y para analizar la inequidad de la cobertura del sistema de salud espacialmente (Smith, 2012). Otros han considerado el uso de la herramienta como un recurso vital para el análisis de negocios dado que la actividad económica se da como un fenómeno espacio-temporal (Rand, 2012).

Joana Barros (2012) ha propuesto el uso de modelos basados en agentes para el fenómeno latinoamericano de la “periferización” en el crecimiento de las ciudades. El término hace alusión al modo en el que las urbes en América Latina se han desarrollado como consecuencia del rápido crecimiento demográfico que se dio en las décadas de los sesenta y setenta. Espacialmente, se han formado asentamientos en las periferias lo cual ha conllevado a que se expandan los bordes de las ciudades; normalmente, las periferias terminan convirtiéndose en zonas residenciales de bajo ingreso con lo cual se da cierta inequidad en infraestructura y, consecuentemente, inequidad social. La propuesta de Barros por simular el crecimiento urbano con modelos basados en agentes se da por la intención de representar un fenómeno que, como esta autora comenta, ha sido concebido de manera estática, cuando realmente se trata de una cuestión sumamente dinámica en la que se dan múltiples procesos de interacción y en el que las decisiones de unos afectan a otros.

En este sentido, los modelos basados en agentes pueden utilizarse para el estudio de las ciudades desde la perspectiva de la sustentabilidad económica y ambiental, así como para el estudio y desarrollo de estrategias que contemplen nuevas maneras de producir y consumir. Esto puede resultar especialmente útil al tomar en cuenta que es casi imposible hacer experimentos controlados en las ciudades, y que existe la necesidad de cambiar ciertas dinámicas en éstas por la contemporánea y creciente preocupación ambiental.

Es importante enfatizar que los modelos basados en agentes son técnicas completamente diferentes a otros métodos de simulación como aquellos conocidos bajo el nombre de microsimulación.

[...] en contraste con los modelos basados en agentes, los modelos de

microsimulación sólo modelan la interacción en una dirección: el impacto de una política en los individuos, pero el impacto de los individuos en la política y las interacciones entre los individuos no son simulados. Además, los modelos de microsimulación no tienen la capacidad para modelar comportamiento como la tienen los modelos basados en agentes. (Crooks & Heppenstall, 2012, p. 92).

Los modelos basados en agentes, por lo tanto, basan su lógica en cuestiones relacionadas a la sintaxis y semántica que ofrecen los lenguajes de programación en vez de basarse enteramente en alguna teoría cuantitativa, técnica o rama de las matemáticas en específico; esto los hace más versátiles y moldeables al contexto y a la naturaleza del problema de investigación que sea de interés. Crooks y Castle (2012), elaboran este punto de modo más extenso.

En primer lugar, los lenguajes de programación son más expresivos y menos abstractos que la mayoría de técnicas matemáticas. En segundo, una simulación a computadora puede lidiar más fácilmente con procesos paralelos y procesos sin un orden o acciones definidas que los sistemas de ecuaciones matemáticas. En tercero, un modelo computacional puede incluir agentes heterogéneos [...], siendo esto usual y relativamente difícil al usar matemáticas. Finalmente, los programas de computadora son (o fácilmente pueden hacerse) modulares, por lo que grandes cambios pueden hacerse en una parte del modelo sin que se requieran grandes cambios en otras partes del programa, ésta es una habilidad que los sistemas matemáticos usualmente carecen (p. 228).

En apartados anteriores, se discutió la incidencia de las tecnologías de la información en los sistemas económicos a lo largo del tiempo, especialmente después de que el ser humano se sedentarizó. Relacionado a esto, dado que a lo largo de este trabajo se ha interpretado a las ciudades como el ecosistema de los seres humanos y que éstas son espacios sumamente complejos; los modelos basados en agentes pueden adecuarse como una tecnología de la información para el estudio y monitoreo del problema económico-ambiental que impone la lógica de las urbes contemporáneas.

Asimismo, en este trabajo se ha contemplado al uso de energía como algo esencial en

cualquier sistema económico. Contemporáneamente, el consumo de energía en las ciudades es mayor al de cualquier otra época, y gran parte de ésta se extrae de combustibles fósiles. En el próximo capítulo se propondrá un modelo basado en agentes en el que se considera el caso de las ciudades en México para explorar las posibilidades hacia una transición energética de combustibles fósiles a fuentes de energías renovables.

IV. Reajuste entre modelación y realidad: modelos basados en agentes e internet de las cosas

En la actualidad una de las más grandes preocupaciones es el cambio climático. La comunidad científica así como la gran mayoría de naciones a lo largo del planeta consideran que la principal causa de este fenómeno es la actividad humana (SEMARNAT, 2015). En términos generales, para poder sostener el estilo de vida que llevan las sociedades humanas tal y como se da actualmente, tienen que generarse grandes cantidades de gases de efecto invernadero los cuales provocan forzamientos radiativos en el clima, fenómeno que en términos más coloquiales se conoce como cambio climático (Estrada & Tol, 2015).

Estos acontecimientos representan uno de los más grandes retos que la humanidad ha tenido que enfrentar, puesto que si el origen de este fenómeno es causado por los seres humanos, las maneras en las que se garantiza la subsistencia de las sociedades tendrá que cambiar. Tal y como sucedió con la sedentarización hace algunos millones de años atrás, la adaptación al cambio climático exigirá una reconfiguración no sólo para las formas en la que se producen bienes y servicios sino también en los patrones de consumo de las personas.

A lo largo de esta tesis, se ha manejado la idea de que los sistemas económicos son el medio de subsistencia de las sociedades humanas y que nuestra especie es la única que asegura su supervivencia a través de métodos tan complejos como son nuestros modos de producción, distribución y consumo. También se ha discutido que los sistemas económicos son un fenómeno que se da independientemente de la formalización de la ortodoxia económica, la cual se ha dado como un cúmulo de teorías y aseveraciones cuyos fundamentos se inspiraron en el tipo de formalización que se dio en la física en siglos anteriores. Debido a estos orígenes, a lo largo de las últimas décadas se han apreciado acontecimientos que insinúan un claro desajuste entre las teorías económicas ortodoxas y la realidad.

Por estas razones, y por la insostenibilidad de los sistemas económicos ante el cambio

climático, es necesario concebir al desarrollo económico como la búsqueda de maneras para la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático que permitan la satisfacción de necesidades humanas a largo plazo sin perturbar otros ecosistemas. En otras palabras, hablar de desarrollo económico es hablar de lograr la sustentabilidad de los sistemas económicos.

Lo planteado anteriormente difícilmente se dará por sí mismo. Para modificar sustancialmente el estilo de vida de las sociedades humanas se requerirá de la introducción de varias innovaciones, es por ello que la generación de nuevas tecnologías es crucial. Este capítulo tiene como objetivo general dar a conocer algunas de las tecnologías que actualmente existen y que tienen un alto potencial para la generación de desarrollo económico.

Particularmente, se considera el uso de modelos computacionales basados en agentes para simular explícitamente el impacto de asentamientos humanos de alta concentración. Dicho de otro modo, se discutirá cómo pueden hacerse simulaciones de ciudades actuales para que éstas sean más sustentables; para llevar a cabo esta tarea se introducen los conceptos de ontología y de metabolismo urbano, y se explica cómo estos conceptos son útiles para la construcción de modelos basados en agentes de espacios urbanos.

Una vez que se haya discutido lo anterior, se profundizará en los requerimientos de información para este tipo de modelos. Debido a que la totalidad de información necesaria para representar la complejidad que caracteriza a una ciudad de la actualidad tiende a no estar disponible o su acceso suele estar restringido, se discute cómo el uso de tecnologías basadas en una lógica de internet de las cosas puede ayudar a satisfacer dichas necesidades de información.

La principal motivación de este capítulo es la de transmitir que a través del uso de modelos basados en agentes junto con aplicaciones de internet de las cosas puede solucionarse el problema del desajuste entre el quehacer teórico y la realidad en la modelación de los sistemas económicos, y con ello planificar asentamientos humanos sostenibles.

IV.1 ¿Por qué modelar?

Antes de discutir la importancia de diseñar y poner en marcha modelos para el estudio de fenómenos económicos y sociales, resulta apropiado esclarecer en términos muy generales qué es la modelación. A *grosso modo*, un modelo es una representación de la realidad. Aun cuando se han dado posturas y aportaciones desde las ciencias sociales que cuestionan y arremeten contra una actitud analítica en el quehacer de las ciencias sociales, tal y como lo ha hecho el post-modernismo, en el momento en que se intenta hacer una descripción sobre la realidad se está construyendo un modelo.

En este sentido, si por ejemplo, se hace una descripción de la realidad social en la cual se asevera que la estructura de una sociedad se da por la existencia de clases sociales distintas, y que dicha estructura se crea y mantiene por la diferencia entre las jerarquías que puedan existir entre estas clases sociales, se estaría entonces haciendo una modelación parecida a la que haría una persona familiarizada con la escuela de pensamiento de Karl Marx. Por otro lado, si se hace una descripción en la que se asevera que las cantidades y precios de un mercado encuentran un equilibrio debido a que, de modo muy general, la oferta exhibe rendimientos decrecientes y la demanda se da como una fuerza originada por la motivación de agentes representativos que buscan maximizar su utilidad, entonces tendríamos una modelación semejante a lo que la teoría económica de corte neoclásico promueve.

Ambas posturas o teorías tienen un posicionamiento en cuanto a cómo se comporta la realidad, y ése es precisamente el modelo en el que se basan. Sin embargo, la elaboración de un modelo por sí misma no garantiza que el modelo sea efectivo en su labor de hacer una fiel descripción de la realidad. Es precisamente éste el problema del desajuste entre teorías y realidad del que hablaba Zemelman; independientemente de si un modelo se ha diseñado de manera sistemática o no, el hecho de que el modelo exista no significa que la realidad exista tal y como el modelo insinúa, esto es particularmente cierto en las ciencias sociales y el resultado natural de la construcción de modelos suele ser así, pues éstos no son más que el intento humano por construir una relación con la realidad.

¿Qué propósito tienen modelar en las ciencias sociales si difícilmente un modelo logrará

captar la complejidad de una realidad social cambiante? Para esta pregunta puede ofrecerse dos respuestas. La primera es que, como se comentó anteriormente, ya sea que un modelo se construya de manera sistemática o no, en el quehacer de las ciencias sociales siempre existe un modelo en tanto que se intente explicar, de una u otra manera, qué es lo que provoca que un fenómeno en particular ocurra. En este sentido, no se trata entonces de si es apropiado modelar o no, pues al intentar ofrecer una explicación sobre por qué ocurre algo se está ofreciendo un modelo de manera implícita.

La segunda respuesta a la pregunta anterior es que, si siempre va a existir un modelo sea explícita o implícitamente, la importancia de modelar se torna a qué tan fácil es validar si el modelo es adecuado para el propósito para el cual fue diseñado. En otras palabras, construir un modelo tiene sentido si existe la manera de corroborar gradualmente qué tan fiel es éste a la realidad y, en caso de que no lo sea, qué tanto éste mejora después de haberse sometido a cambios. Por lo tanto, la elaboración de un modelo se refiere a una práctica continua y no a un estado del arte que alcanza un estado máximo inmejorable.

En relación a la problemática en torno al cambio climático por actividad humana, una actitud renuente a elaborar modelos para intentar explicar este fenómeno es igual a ser reacios a querer evitar los efectos negativos que éste puede traer y, por ende, es rehusarse a hacer algo al respecto. Aun cuando se adoptara una actitud basada en que el cambio climático o “el daño a la naturaleza” es culpa de las naciones más industrializadas, se está adoptando un modelo implícito que no aporta un curso de acción para mitigar o adaptarse a dicho fenómeno.

Es por ello que por cuestiones éticas y para efectos de mayor eficiencia, es pertinente poner en práctica el diseño de modelos cuyas partes o componentes sean explícitos a diferencia de una modelación implícita como sería una vaga descripción o el mero uso de la retórica tal y como se ha dado en la práctica post-moderna; el riesgo de promover modelaciones así es el de caer en una situación en la que no hay claridad sobre cómo establecer un curso de acción o, inclusive, cómo reajustar las teorías con la realidad.

IV.2 Modelos implícitos y modelos explícitos: introduciendo el concepto de ontología

Considérese la siguiente analogía. Si una persona requiere de instrucciones para llegar a un lugar, el tipo de información que esta persona requiere debe de contener detalles explícitos sobre la ruta a seguir para lograr dicho objetivo; la instrucciones necesitan contener información sobre qué otras cosas hay cerca de ese lugar, cuál es la secuencia de caminos o alguna referencia para poder reconocer el objetivo una vez que se haya alcanzado.

Del mismo modo, si lo que se pretende es reducir el impacto de los asentamientos humanos en el medio ambiente se requiere de información detallada para poner en marcha un plan para ello. En este sentido, se debe de contar con una representación fiel de cómo es que los impactos se generan; un problema que la modelación ha tenido en años recientes es que no ha existido la capacidad computacional para hacer explícitos muchos detalles sobre la realidad. La economía ortodoxa, por ejemplo, ha intentado ser explícita al formalizar su quehacer con el uso de cálculo infinitesimal, sin embargo, al tomar supuestos simplificadores como el de la existencia de agentes representativos se reduce el grado de complejidad y se da también un desajuste con la realidad.

Está también la crítica que surge desde un punto de vista filosófico a este tipo de modelación que intenta ser explícita pero aún no cuenta con la capacidad de hacer una representación más fiel de la realidad. Estas críticas, a pesar de estar haciendo una denuncia válida y necesaria, suelen hacerse de modo narrativo y realmente no ofrecen un modelo o un cómputo alternativo y eficiente.

Como ejemplo están los pensadores que se mencionaron en el segundo capítulo de esta tesis; éstos arremeten contra la racionalidad económica, cuestionan el ímpetu analítico en las ciencias sociales y lamentan la degradación ambiental pero todo esto se manifiesta únicamente como una práctica retórica cuyo esfuerzo se queda en la publicación de libros con ensayos de opinión. Para el diseño de acciones y planes específicos en materia ambiental, lo que autores como Gudynas, Boaventura Sousa de Santos o Leff aportan no es diferente a lo que aportaría una compilación de escritos literarios de cualquier otro tipo. Y en cuanto el grado de especificidad sobre el fenómeno de la degradación ambiental, dado

que su práctica es retórica su modelación queda en un estado meramente implícito.

Sintetizando lo anterior, por un lado ha existido la motivación de modelar la realidad con supuestos falsos y con la incapacidad de computar entornos complejos y, por otro, existe el quehacer filosófico basado en concebir escenarios distintos pero sin la costumbre de hacer más explícita una práctica que logre incidir en la realidad. Lejos de agudizar las diferencias entre las posturas anteriores, se ha propuesto el uso de ontologías para poder aprovechar la capacidad de cómputo de las tecnologías actuales y al mismo tiempo lograr descripciones más explícitas de la realidad (Livet, Müller, Phan & Sanders, 2010).

El término ontología proviene del griego “ontos” y éste hace alusión a lo que existe o a lo que está. Este concepto se ha introducido en la ciencia computacional como una manera de detallar los conceptos o elementos que existen en un programa así como las operaciones o relaciones que éstos guardan entre sí (Livet, Müller, Phan & Sanders, 2010). El término ha sido importado de la filosofía, no obstante en esta última existen algunas diferencias; los conceptos no son la unidad ontológica elemental sino que éstos son nuestro medio para entender el mundo (Livet, Müller, Phan & Sanders, 2010). “[...] el propósito del filósofo es el de ser tan general como sea posible, para poder, con pocas categorías, considerar tantos casos como sea posible, mientras que el desde el punto de vista del científico computacional es el de ser específico y orientado hacia lo ingenieril” (Livet, Müller, Phan & Sanders, 2010).

En relación a la modelación basada en agentes, el concepto de ontología se ha propuesto como una conciliación entre la necesidad de ser tan genéricos como sea posible para hacer representaciones de la realidad social y la necesidad hacer modelos explícitos que sean comunicables y modificables (Livet, Müller, Phan & Sanders, 2010). Para ello, la ontología es como un traductor que trata de mediar la comunicación entre dos personas que hablan diferentes lenguajes; estas personas podrán estar hablando de un mismo tema pero los medios que tienen a su disposición para hacer alusión al tema son distintos. Es decir, dos personas pueden referirse semánticamente a una misma cosa, pero cada uno con una sintaxis distinta; una ontología, en este sentido, es una forma de lograr una sintaxis común para que no existan incompatibilidades en la forma de hacer una modelación sobre la

realidad social y, por lo tanto, se trata de una manera de asegurar coherencia entre modelos, conceptos o representaciones (Livet, Müller, Phan & Sanders, 2010).

Una ontología es muy parecido a lo que el filósofo Ludwig Wittgenstein propuso en su obra denominada *Tractatus Logico Philosophicus*. En ésta, se establecía que las palabras son mapas para los objetos, y que si la configuración de las palabras coincidía con la configuración de los objetos entonces existiría congruencia entre una aseveración y la configuración de los hechos a los que uno se estaría refiriendo (Wittgenstein, 1922). Traslapando esta idea a los modelos computacionales basados en agentes, un modelo como una representación de la realidad será coherente si en su intento por describir la realidad, los conceptos y elementos que éste contempla pueden combinarse de modos en los que los elementos y entidades de la realidad puedan combinarse también.

En este sentido, una ontología no es más que la formalización de un lenguaje genérico sobre el cual pueda construirse un modelo lo suficientemente versátil pero detallado para que dentro del modelo puedan reconstruirse hechos tal y como suceden en la realidad. Es importante enfatizar que una ontología no deja de ser en sí un modelo para construir modelos, y ésta sirve como una plantilla que establece la guía para poder hacer referencia a fenómenos sociales de una manera no ambigua sin dejar de ser versátil.

Para esclarecer no sólo el concepto de ontología sino la razón por la cual éste puede ser útil, en el siguiente apartado se hace una propuesta de ontología para modelos computacionales basados en agentes. Esta ontología se basa en siete categorías con las cuales pueden construirse modelos de modo conceptual en un inicio, pero su propósito es que estos modelos puedan conformar programas de simulación para estudiar y mitigar problemas ambientales en espacios urbanos contemporáneos.

IV.3 Siete categorías para hablar de sociedades humanas

Una vez introducida la idea de una ontología como un lenguaje genérico para construir modelos para simular sociedades humanas. A continuación se presenta el ejemplo de una

ontología para la creación de modelos computacionales basados en agentes. Esta ontología consiste en siete categorías o conceptos elementales los cuales pueden aludir a entidades físicas o procesos; el fundamento o supuesto más básico de esta ontología es que en la realidad social existen los sujetos o agentes, los objetos, el tiempo, el espacio, la interacción, la diversidad y, por supuesto, el lenguaje.

IV.3.1 Lenguaje

Estas siete categorías son en sí mismas un lenguaje en tanto que estos conceptos pueden combinarse entre sí para tratar de aludir a un fenómeno en particular. La premisa es que cualquier fenómeno social puede traducirse en términos de la interacción que tienen los sujetos en el tiempo y espacio, ya sea entre sí mismos o de éstos con objetos; las interacciones pueden manifestarse de diversas maneras pues existe diversidad tanto de sujetos como de objetos.

Se incluye al lenguaje como una categoría ya que éste es el principal medio a través del cual los seres humanos entablan comunicación. Del mismo modo, esta ontología es un lenguaje pues es un método para comunicar una manera genérica de construir modelos computacionales para simular fenómenos sociales. Uno de los principales ejes de esta tesis es que el desajuste entre teorías y realidad es un problema que suelen tener las ciencias sociales. Adoptando la idea de Wittgenstein, de modo muy general, al hacer un intento por hacer una descripción de la realidad la fidelidad o grado de desajuste que ésta tenga estará en función de la configuración de los conceptos y si esta configuración se asemeja a la configuración de la realidad. Por lo tanto, el problema del desajuste es un problema del uso del lenguaje, es por ello que se incluye a éste como una categoría de la ontología; el lenguaje no sólo es una forma con la que los seres humanos interactuamos con nosotros mismos, éste es también el medio que usamos para interactuar con la realidad.

IV.3.2 Sujetos

Toda entidad que tenga la capacidad de ejercer una voluntad para interactuar con el resto del entorno puede ser considerado un sujeto o un agente. Existe, por lo tanto, cierta capacidad sensorial que hace que un agente pueda interactuar con su entorno; más allá de la

capacidad de lenguaje que dota a un agente de la capacidad de interpretar y emitir símbolos y significados, un sujeto puede interpretar el espacio, el tiempo y si otra entidad es otro agente o un objeto.

En un modelo computacional basado en agentes, los sujetos no adquieren un significado especial más allá de lo que se ha mencionado en este apartado. Algunas posturas dentro de las ciencias sociales y dentro de la filosofía humanista querrán asignar una valoración más folclórica o más profunda a la noción de sujetos; en ésta, sin embargo, se adopta un sentido más pragmático. Los agentes por lo tanto, pueden representar varios tipos de entidades, y un sujeto puede representar desde un miembro de otra especie hasta una colectividad de personas como un hogar o una empresa. Se considera a un agente cualquier elemento que tenga capacidad cognitiva y de interacción, y que use estas capacidades para perseguir metas.

IV.3.3 Objetos

A diferencia de los sujetos, los objetos son entidades con las cuales se puede interactuar pero que no pueden ejercer la capacidad de interactuar por iniciativa propia. En un sistema económico, por ejemplo, cualquier cosa que se use con el fin de satisfacer necesidades puede ser considerada un objeto. Por ende, cualquier recurso natural, insumo, maquinaria, servicio, idea o creencia es también un ejemplo de objeto.

Nuevamente, podrá existir una interpretación distinta en las humanidades para algunas cosas como, por ejemplo, los recursos naturales; la idea de la naturaleza bajo la conceptualización de “la madre Tierra” suele considerar que el agua o la tierra son sustancias que deben tratarse como entidades con derechos tal como si se tratara de seres vivos. De acuerdo a esta ontología, tanto el agua como cualquier otro recurso recibe el trato de objeto, así como también lo recibe la creencia de que la naturaleza es un ente. Mientras un elemento sea producto de la interacción entre sujetos o que dicho elemento no tenga una capacidad cognitiva y de interacción, éste será considerado un objeto.

IV.3.4 Tiempo

Esta categoría podría considerarse como un objeto de acuerdo a esta ontología siempre y cuando el tiempo caiga dentro de una atribución de significado específica que resulte por una interpretación cultural, como hablar del tiempo como una deidad o un mito; en dicho caso el tiempo sería un objeto como cualquier otra idea o creencia humana. Sin embargo, el tiempo puede entenderse también como el mero acontecer de sucesos de modo que pueda concebirse la noción de cambio.

Ya sea que se trate de granos de arena cayendo sobre un recipiente, sombras en movimiento o la circulación de manecillas de un reloj, no podría decirse que algo de tiempo transcurrió de no existir alguna medida de que algo cambió. Lo que puede aportar de modo más fundamental que se ha dado un cambio es el mismo clima, pues para medir el paso de un día es crucial el cambio en la intensidad de la luz con el transcurso del día a la noche, y esta misma idea puede extenderse para las estaciones dentro de un año.

La noción del tiempo como una medida de cambio resulta indispensable para la modelación de problemas ambientales así como para la consideración de planes de mitigación y adaptación al cambio climático.

IV.3.5 Espacio

No es posible hablar de ninguna categoría sin la noción de espacio. Sin embargo, podríamos hacer alusión a dos tipos de espacio: el espacio físico y el espacio lógico. El primero es una “condición suficiente y necesaria” para hablar de sujetos, objetos, tiempo, interacción, diversidad y lenguaje. Sin el espacio en el que hay personas interactuando de maneras diversas, ya sea entre ellos o con objetos, ¿entonces qué es lo que existe? Forzosamente debe de existir un espacio físico que contenga al resto de categorías.

El espacio físico no sólo puede entenderse como aquel “vacío” que contiene cosas. Al ser el entorno más inmediato en el que somos conscientes, el espacio puede someterse a cualquier tipo de valoración humana. Es decir, al hablar de espacio no sólo nos referimos a la medición de este a través de alguna unidad patrón o una delimitación geográfica fija e

inamovible; el espacio puede ser la fuente para todo tipo de comportamiento o reacción. Los sujetos pueden apropiarse del espacio, compartir o ejercer su exclusividad, invadir espacios o reaccionar ante la consideración de “ser invadidos”. Hablar de espacio físico entre seres humanos es hablar de “territorialidad”; existen comportamientos humanos que surgen por la noción de espacio físico, no obstante el espacio se manifiesta ante nuestros sentidos físicos de la misma manera: es un “vacío” que podemos recorrer y ocupar.

Por otro lado, el espacio lógico, hace alusión a los límites y maneras en la que los seres humanos podemos razonar y entender nuestra propia realidad. Algunos ejemplos de esto es hablar de “un objeto que ocupa más de un lugar en el tiempo y espacio a la vez”, que “un vaso de agua está lleno y vacío al mismo tiempo”, o que es posible “imaginar un objeto espacial sin que exista el espacio”. Este tipo de preposiciones atentan contra nuestro modo espontáneo y natural de percibir el mundo; sin embargo, el espacio lógico no es algo que se pueda absolutizar, es decir, puede haber una lógica para cualquier tipo de interacción humana como la lógica de las sanciones en un deporte como el fútbol en el que al recibir dos tarjetas amarillas, no hay espacio lógico para que jugador sancionado continúe en el juego. Por lo tanto, el espacio lógico hace alusión al espacio de cosas pensables y concebibles.

IV.3.6 Interacción

Como se comentó anteriormente, en ocasiones puede pensarse en las personas como “sustancias”, pues no existen dos personas iguales en el mundo e incluso si una persona sufre un accidente y pierde una extremidad la persona sigue existiendo y sigue siendo “en esencia” la misma”. No obstante, en ausencia de oxígeno o de sangre circulando hacia el cerebro, en definitiva, la persona no es “en esencia” la misma pues en el caso de un sujeto sin la interacción con oxígeno, la persona está “esencialmente” muerta. Cualquier cosa que se analice es el resultado de la interacción de “otras cosas”: las olas de mar se producen por cierta interacción de partículas de agua a nivel local; el estado gaseoso, líquido y sólido del agua responde a distintos niveles de interacción atómica; y cualquier especie animal o vegetal es un conjunto de subconjuntos que contienen tejidos, células y códigos genéticos sujetos a cierta articulación. ¿Por qué sería diferente en sociedad?

Desde la economía, al concebir una “ley” o “mano invisible” que opera sobre las condiciones de una sociedad se exime el mérito o responsabilidad a las personas y a la interacción que surge por ellas. Un mercado no es un ente en “algún espacio” imperceptible; los mercados surgen por la interacción entre las personas, así como los sistemas políticos. Asimismo, existen grados de interacción de los sujetos consigo mismo y con los objetos; pues, podría argumentarse que algunos sujetos no gozan de la misma interacción pues éstos han sido esclavizados o privados de alguna garantía, en este caso puede hablarse de una interacción nula de ellos hacia otras cosas. Del mismo modo, algunos gozan de un grado de interacción mayor y desbalanceado con respecto a la de otros, esto puede entenderse como “concentración de poder en el ámbito social, político o económico”.

Las múltiples maneras de interacción entre los sujetos, no sólo con los objetos sino entre sí mismos y con el resto de las categorías, son la fuente de la gran diversidad cultural que existe y ha existido. No son “las culturas” otra especie de sustancia, sino el resultado de ciertos tipos de interacción. ¿Algunos modos de interacción son mejores o peores que otros? Esto sería parecido a cuestionarse “¿cuál es la mejor cultura?” como poder hablar del “mejor equipo de basquetbol”. No es la intención de esta investigación entrar en ese tipo de discusión, lo relevante es reconocer la existencia de la diversidad cultural como el producto de un espacio físico y lógico sobre el cual se da la interacción.

IV.3.7 La diversidad

Todo se manifiesta a su modo; las personas y las sociedades no son la excepción. La diversidad como categoría o noción puede fácilmente apreciarse al analizar cualquier ecosistema. No sólo hay un espacio heterogéneo en el que diferentes especies viven, sino que éstas cumplen roles distintos para sostener el ecosistema entero. Es cuando las piezas de un sistema son diferentes que éstas pueden articularse para así generar mayor diversidad. Esto es notorio en los principios de la evolución por selección natural, pues gracias a la reproducción a lo largo del tiempo se generan “nuevas especies”. Algo parecido podría decirse para las sociedades; si bien, los principios tal vez no sean los mismos a los observables en un ecosistema; no obstante, es posible hablar de “evolución por selección cultural”.

Dicho de otro modo, tal vez no sea una cuestión de aptitud para sobrevivir como cultura ante cierta adversidad, pero no resulta descabellado hablar de la preservación o alteración de estilos de vida humanos por la transmisión de tradiciones, creencias o tecnologías. Existen prácticas, ideas o discursos que se replican; algunos mutan accidental o premeditadamente, otros mantienen cierto grado de fidelidad: existen prácticas religiosas antiguas como el cristianismo pero con el tiempo han surgido variaciones como el protestantismo.

Observar la diversidad en un modelo puede ser computacionalmente muy costoso y, a raíz de ello, es probable que comúnmente se opte por abstraer esta categoría de cualquier modelación o planteamiento descriptivo de una sociedad. En esta investigación se plantea como un requisito, pues un ingrediente para hablar de fenómenos complejos no sólo es contemplar la interacción entre distintas partes, sino admitir y contemplar que las partes son diversas. Asimismo, desde una perspectiva computacional es posible modelar aspectos diversos de un fenómeno gracias a técnicas como los algoritmos genéticos.

IV.4 Articulación de categorías

Las categorías por sí mismas no son muy útiles. La mayor ventaja de modelar a través de categorías es mediante el uso de éstas de manera articulada; así como las palabras ayudan a formar oraciones cuando se combinan de manera coherente, las categorías al articularse forman también representaciones de tal modo que puede entenderse a la descripción articulada de categorías como un cómputo de elementos.

Anteriormente se mencionó que el uso de estos siete conceptos puede ajustarse de tal modo que pueda hacerse cualquier representación sobre alguna configuración de acontecimientos. La forma más genérica de establecer esto es a través de proposiciones del tipo “una diversidad de agentes interactúa entre sí y con una diversidad de objetos en el tiempo y espacio”.

Para ofrecer un ejemplo más explícito, éstas categorías pueden combinarse para intentar

describir el estilo de vida de sociedades humanas anteriores a la sedentarización; en dicho caso, una descripción podría caer en una proposición como “una colectividad de sujetos utiliza herramientas para cazar a miembros de otras especies”, esta descripción, aún muy general e implícita, cae dentro del tipo de discusión que se sostuvo en el capítulo segundo de esta tesis. En dicha descripción, se establece que la diversidad de sujetos, siendo ésta una colectividad de seres humanos, coopera entre sí para asegurar su subsistencia a través de la interacción con objetos, las herramientas de caza, para así poder alimentarse de otras especies.

En este sentido, la interacción entre sujetos refleja cierta diversidad. En un primer plano, se da un tipo de interacción entre la colectividad de seres humanos la cual se manifiesta como una cooperación; en un segundo plano, se da otro tipo de interacción entre sujetos la cual se manifiesta como la caza de seres humanos a otras especies; y en un tercer tipo de interacción puede mencionarse el uso de las herramientas de caza con las cuales se hace posible la interacción anterior.

En cuanto al tiempo y el espacio, aunque no se hayan mencionado explícitamente en la descripción articulada del párrafo anterior, dichas categorías están implícitas de acuerdo a la información que se proporcionó. Dado que se tratan de sociedades nómadas, su interacción con el espacio tiene una forma específica de ser en la que no existe un asentamiento humano fijo, sino que éste siempre es temporal y cambiante. En cuanto al tiempo, la noción de cambio se da en el momento que el uso del espacio es distinto.

Para hacer una descripción de un fenómeno social contemporáneo puede hacerse alusión al tipo de interacciones que se dan en una ciudad para consumir energía eléctrica. En este caso, y usando las categorías de modo articulado, puede hablarse que en “un espacio determinado en el que existe una gran concentración de individuos habitando dicho lugar de manera indefinida, y que éstos individuos interactúan con otras colectividades de sujetos al intercambiar dinero por energía eléctrica la cual es consumida en el mismo asentamiento para realizar una gran diversidad de actividades”.

En la descripción anterior simplemente se hizo alusión a un mercado contemporáneo en el

que se compra y vende energía eléctrica. Sin embargo, un efecto de estas interacciones es la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera las cuales contribuyen al cambio climático haciendo que el nivel de la temperatura aumente con el paso del tiempo. En los términos de las categorías, puede hablarse de que la interacción entre los sujetos, consumidores y productores, y la interacción entre éstos y los objetos, como la producción y consumo de electricidad, que generan otro tipo de interacción como es el de los gases de efecto invernadero con el espacio, lo cual genera cambios en el clima y por ende cambios en el tiempo.

De los dos ejemplos elaborados anteriormente puede destacarse dos puntos. El primero es que en ambos se dio una descripción muy general sobre un fenómeno o configuración de acontecimientos la cual pudo ser detallada cada vez más al hacer más explícitas las interacciones entre la diversidad de sujetos y objetos en el tiempo y espacio. Este es un ejemplo simple de cómo es posible hacer de un modelo implícito otro más explícito a través de la coherente articulación de categorías de una ontología.

El segundo punto a destacar es que, tanto para el ejemplo de la sociedad nómada como el de la sociedad urbanizada, la diversidad de interacciones introduce cambios que pueden rastrearse por la exclusividad en el tipo de interacciones que se han dado en el tiempo y espacio y no a través de un método general computable. En otras palabras, ambos acontecimientos son ejemplos de sistemas adaptativos complejos cuyas dinámicas se dan como el resultado de una multiplicidad de elementos que están en constante cambio y no como algo que pudiese ser calculado de modo similar a como se computa la aceleración de un objeto; es decir, los métodos analíticos por sí mismos son de poca utilidad cuando se estudia un fenómeno complejo.

De ninguna manera podría haberse descrito que la transición de sociedades nómadas a sociedades sedentarias se dio como una fórmula matemática para la cual se sustituyen ciertos valores y analíticamente se obtiene como resultado la extinción de una diversidad de especies por la caza humana y, consecuentemente, el surgimiento de la agricultura y ganadería como una manera de adaptarse a nuevas circunstancias. Del mismo modo, difícil es tener una medida exacta de los efectos que tiene el consumo eléctrico en residencias,

negocios e industrias en el clima con sólo despejar variables y asumir conductas constantes en los agentes. El cambio climático por actividad humana es el resultado de un sinfín de hábitos y comportamientos los cuales no pueden ser rastreados eficientemente a través de supuestos simplificadores y matemáticas analíticas. Ambos casos pueden ser entendidos como sistemas adaptativos complejos, y por esa razón es apropiado utilizar otro tipo de heurísticas distinto a los métodos analíticos convencionales.

Sin embargo, la ontología así como la articulación de sus categorías tal y como han sido exhibidas en este apartado son insuficientes para poder hacer representaciones más robustas y más explícitas. La razón se debe a que para hacer las descripciones se ha simplemente recurrido a la narrativa a través de la elaboración de enunciados. Éstos, si bien, puede captar la esencia *a grosso modo* de los fenómenos que se quiere estudiar, pero el habla humano es poco eficiente para poder captar cada peculiaridad de cada interacción, cada cambio en el tiempo y, más ineficiente aún para intentar capturar la dinámica de los patrones emergentes que suelen ser característicos de los sistemas adaptativos complejos.

Por lo mencionado anteriormente, se encuentra en la simulación un método muy capaz para poder llevar el cómputo de una gran diversidad de componentes. En este sentido, las tecnologías de información como son los modelos computacionales basados en agentes con una lógica respaldada por la ontología descrita en esta tesis se presentan como una metodología con alto potencial para el estudio de los sistemas complejos que surgen de las dinámicas urbanas de la actualidad. Una vez dicho esto, no es que la narrativa de descripciones articuladas sea un recurso obsoleto, más bien se trata de una condición necesaria pero no suficiente para estudiar de modo más explícito el impacto de los asentamientos humanos en el medio ambiente.

IV.5 Aspectos computacionales de la ontología

Hasta el momento se ha mostrado un uso sumamente implícito de la ontología, ésta puede tan explícita como se desee aunque siempre es prudente mantener cierto nivel de simplicidad pues el motivo por el cual se hace un modelo es para tener una representación

reducida de la realidad.

Para poder tener un modelo más detallado pero cuyo nivel de abstracción aún permita mantener una herramienta intuitiva y fácil de comunicar se requiere de algún lenguaje de programación²⁴. Con esto las limitaciones de la narrativa pueden superarse para entonces aumentar la riqueza de lo que puede expresarse a través de la ontología y sus categorías.

La ontología sirve como un punto de partida que permite comunicar, de modo muy general, una descripción sobre la configuración de acontecimientos de un fenómeno en particular. Ésta, sin embargo, sirve como los cimientos semánticos para poder hacer simulaciones más detalladas, con la incorporación de un lenguaje de programación se pueden crear escenarios más explícitos, por lo que al añadir este componente se amplía la sintaxis de un modelo.

En cuanto a la programación de modelos basados en agentes, se utiliza una técnica denominada programación orientada a objetos. Éste paradigma en la programación se refiere a la capacidad de encapsular atributos e información en un conjunto de instrucciones.

Es importante aclarar que al hablar de objetos en este estilo de programación el término tiene una connotación completamente distinta a cuando se hace referencia a los objetos de la ontología compuesta de siete categorías. Para evitar confusiones, al referirse a un objeto perteneciente al estilo de programación discutido se utilizará en su lugar el término ‘entidad conceptual’, pues un objeto en la programación se refiere a una encapsulación de datos y atributos, y tanto los objetos como los sujetos de la ontología para la construcción de modelos cuenta con un conjunto de atributos que los caracteriza.

Tal y como ya se mencionó, los sujetos y los objetos pueden representarse a través de entidades conceptuales. El espacio es la condición necesaria y suficiente para que existan tanto objetos como sujetos, es decir, es en el espacio donde se encuentra todo aquello que existe. El tiempo puede medirse de muchas maneras; por simplicidad, y para efectos de la modelación propuesta en este apartado, se recurrirá a la convención social para medir el

24 Los detalles sobre cómo funciona y cómo usar un lenguaje de programación están fuera del propósito y del alcance de esta tesis.

tiempo basada en horas, segundos minutos, así como el conjunto de clasificaciones que pueden derivarse de este sistema. La interacción es una facultad de los sujetos y objetos, pues los primeros pueden ejercer cierta autonomía y persecución de objetivos, mientras que los segundos pueden contar con ciertas propiedades que ejercen cierta influencia tanto en el espacio como en otras entidades conceptuales. La diversidad es una propiedad de cualquier tipo de entidad conceptual, pues cada una puede manifestarse a su modo.

Una vez establecidas las categorías y su especificación semántica de acuerdo a un lenguaje de programación orientado a objetos, un sujeto puede representar cualquier cosa que el modelador desee especificando atributos consistentes con el fenómeno que se pretenda representar. Por ejemplo, tratándose de una simulación de un entorno urbano, un sujeto puede ser cada uno de los habitantes de dicho espacio o una colectividad de ellos; por lo tanto, un sujeto puede ser un hogar o vivienda. La interacción de cada hogar puede definirse como el consumo habitual de ciertos objetos como el agua, energía eléctrica, combustibles y demás.

IV.6 Simulación basada en el concepto de metabolismo urbano

Algunos esfuerzos por desarrollar modelos y herramientas conceptuales para promover la transición de las ciudades contemporáneas hacia espacios más sustentables han optado por interpretar a las ciudades como un organismo que metaboliza la entrada y salida de insumos (Kennedy, Pincetl & Bunje; 2010). Esta idea es análoga al modo en el que un ser vivo se nutre de ciertos recursos y convierte a estos insumos en energía útil para subsistir pero, al mismo tiempo, este consumo genera ciertos desechos.

Tal y como esto sucede con un solo organismo también ocurre con varios. Para el caso de las ciudades, dado el consumo que demandan sus poblaciones en agua, energía, alimentos y demás; también se generan residuos y gases de efecto invernadero.

De acuerdo a esta formulación, una sociedad capaz de minimizar o aprovechar tanto sus residuos como sus emisiones es una sociedad con un metabolismo capaz de procesar la

totalidad de interacciones que se dan en dicho espacio. El concepto de metabolismo urbano, por ende, puede resultar útil para reflejar la capacidad de una sociedad para satisfacer sus necesidades sin provocar un alto impacto ambiental; del mismo modo, este concepto puede ayudar a identificar rutas de acción hacia prácticas y políticas urbanas más sustentables.

Al combinar el concepto de metabolismo urbano con las categorías de la ontología propuesta, pueden adecuarse modelos de simulación para ciudades contemporáneas. Este andamiaje persigue el objetivo de hacer representaciones cercanas a los resultados que surgen por la interacción entre una gran diversidad de entidades y, por supuesto, buscar acciones que incidan en la realidad para obtener un resultado distinto. Para poder llevar a cabo esta tarea se requieren ciertos insumos que reflejen la configuración y propiedades de una ciudad y de sus agentes. Estos insumos se refieren a información como la topología urbana, la ubicación de hogares, aspectos sociodemográficas, condiciones climáticas, etcétera.

IV.7 Construcción de un modelo para ciudades en México para simular consumo eléctrico

Para ofrecer un ejemplo en específico, considérese la localidad de Cholula de Rivadavia que está dentro del municipio de San Pedro Cholula en el estado de Puebla en México. Este mismo ejemplo puede extenderse para cualquier otra urbe de este país.

Para hacer una representación de la topología de dicho espacio se recurrirá a la cartografía urbana proporcionada por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística, y para obtener información sociodemográfica se recurrirá al Censo Nacional de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010) que hace esta misma institución. Este censo contiene información georeferenciada de la ubicación de cada uno de los números exteriores de cada manzana urbana, con lo que se puede incorporar a un modelo la presencia tanto de viviendas como de negocios. Existe también el Directorio Estadístico de Unidades Económicas (INEGI, 2016) de INEGI con el cual pueden consultarse las empresas y organizaciones que se sitúan en el territorio nacional mexicano.

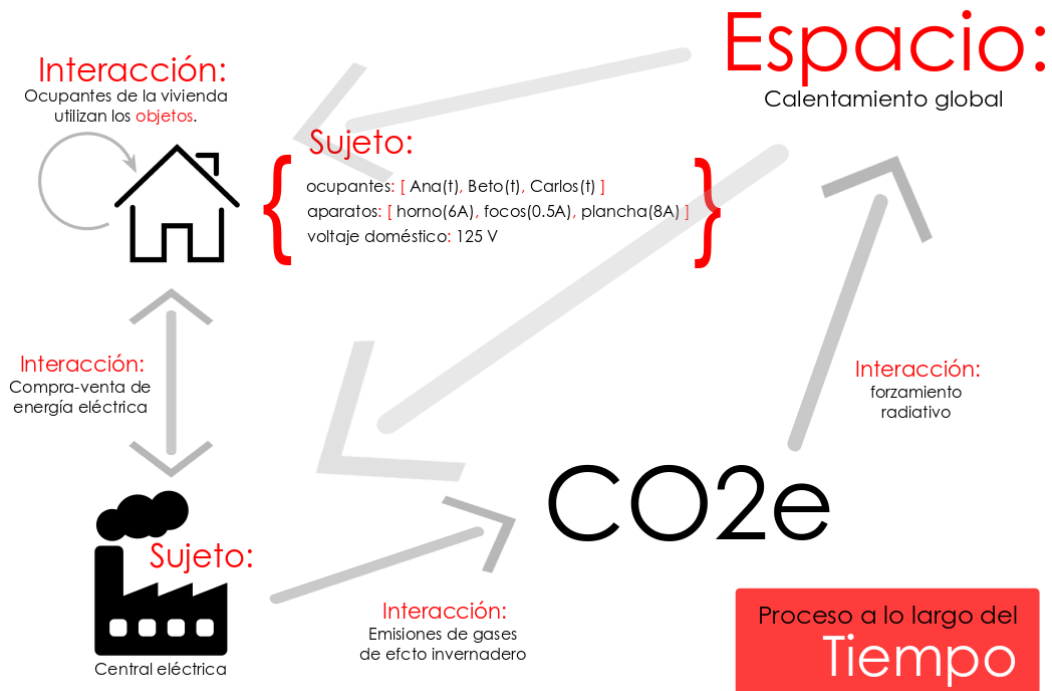
El uso de la cartografía urbana y de uso de información georreferenciada de viviendas o negocios sirve para representar al espacio y a los sujetos respectivamente. Dado que la categoría de diversidad se refiere a una propiedad de los sujetos, la información sociodemográfica de los censos a nivel manzana puede aportar detalles sobre cómo se distribuyen las características de la población en el espacio y, por ende, también puede ayudar a conocer qué tipo de atributos tiene cada vivienda; para las unidades económicas se puede consultar el mismo DENUÉ o los censos económicos (INEGI, 2014).

Debido a que en este ejemplo se construye una representación sobre consumo de energía eléctrica, los objetos de este modelo pueden ser representados por la misma energía eléctrica medida en kilovatios-hora así como los aparatos que consumen esta electricidad. Al existir diferentes aparatos con diferentes capacidades de voltaje y amperaje, la diversidad como una propiedad de los objetos se hace explícita al otorgar los atributos que le corresponde a cada aparato.

La interacción puede definirse como el simple consumo de los sujetos por efecto de sus rutinas y éstas últimas existen por la existencia del tiempo y la capacidad de los sujetos de interactuar con éste a través del lenguaje. Dado que los sujetos pueden reconocer la hora del día en la que se encuentran pueden entonces actuar conforme una rutina, sin la capacidad de lenguaje no existiría la capacidad de reconocer símbolos que comuniquen el tiempo. De esta manera se hace explícita la interacción de los sujetos con el tiempo a través del lenguaje, y esta interacción da lugar a la rutina con la que se da la interacción de los sujetos con objetos que consumen energía eléctrica. La interacción de los objetos en el espacio se puede definir como las emisiones de gases de efecto invernadero que cada kilovatio-hora consumido genera; a esto se le llama factor de emisión. Este factor existe siempre y cuando la fuente con la que se produjo la electricidad provenga de combustibles fósiles.

Los agentes podrían, sin embargo, utilizar otra fuente de energía que no genere emisiones de gases de efecto invernadero. Este es el caso de las energías renovables o limpias, y una de las energías que tienen mayor aprovechamiento en México es la energía solar.

Figura IV.1 Diagrama de interacción de la ontología computable



Fuente: Elaboración propia

El Centro de Datos de las Ciencias Atmosféricas de la NASA (2017) proporciona información sobre el potencial de aprovechamiento de energía solar en cualquier punto del planeta. Al buscar las coordenadas correspondientes a la región de Cholula en Puebla, puede obtenerse información diaria de cómo la irradiación, medida en kilovatios-hora por metro cuadrado, se comporta.

Para efectos prácticos de un modelo de simulación, esta información ayuda a representar, a través de las categorías de la ontología, el paso del tiempo en el espacio representado. Esto significa que para poder evaluar la posibilidad de una transición energética a fuentes renovables en un espacio urbano en particular, se puede cotejar la información sobre consumo energético generada por la simulación con la información referente al potencial de aprovechamiento energético que presenta dicho lugar. Para el caso de la región de Cholula, se encuentra disponible información sobre la irradiación promedio de cada día desde julio de 1984 hasta diciembre de 2004; por lo que existe información sobre el potencial energético solar de cada día durante 20 años.

Figura IV.2. Sujetos en el espacio de acuerdo a un modelo computacional basado en la localidad de Cholula de Rivadavia



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.

Evaluar la factibilidad de que el consumo energético de las viviendas en un espacio urbano provenga del sol en vez de combustibles fósiles resulta más complejo que simplemente sustituir valores en alguna función analítica para así obtener un resultado. La disponibilidad de energía solar para uso doméstico o comercial depende de la irradiación en el tiempo y de cuánto consumen los sujetos.

Por ello, la producción de energía solar a pequeña escala es un fenómeno espacio-temporal y, hasta cierto punto, complejo. Esto es porque en cada estación del año y en cada hora del día la irradiación es diferente, ante esto también se tiene que considerar la diversidad de interacciones que tienen los agentes con los objetos que consumen energía. No obstante, teniendo una buena representación sobre cuántas personas habitan cierto espacio y sobre

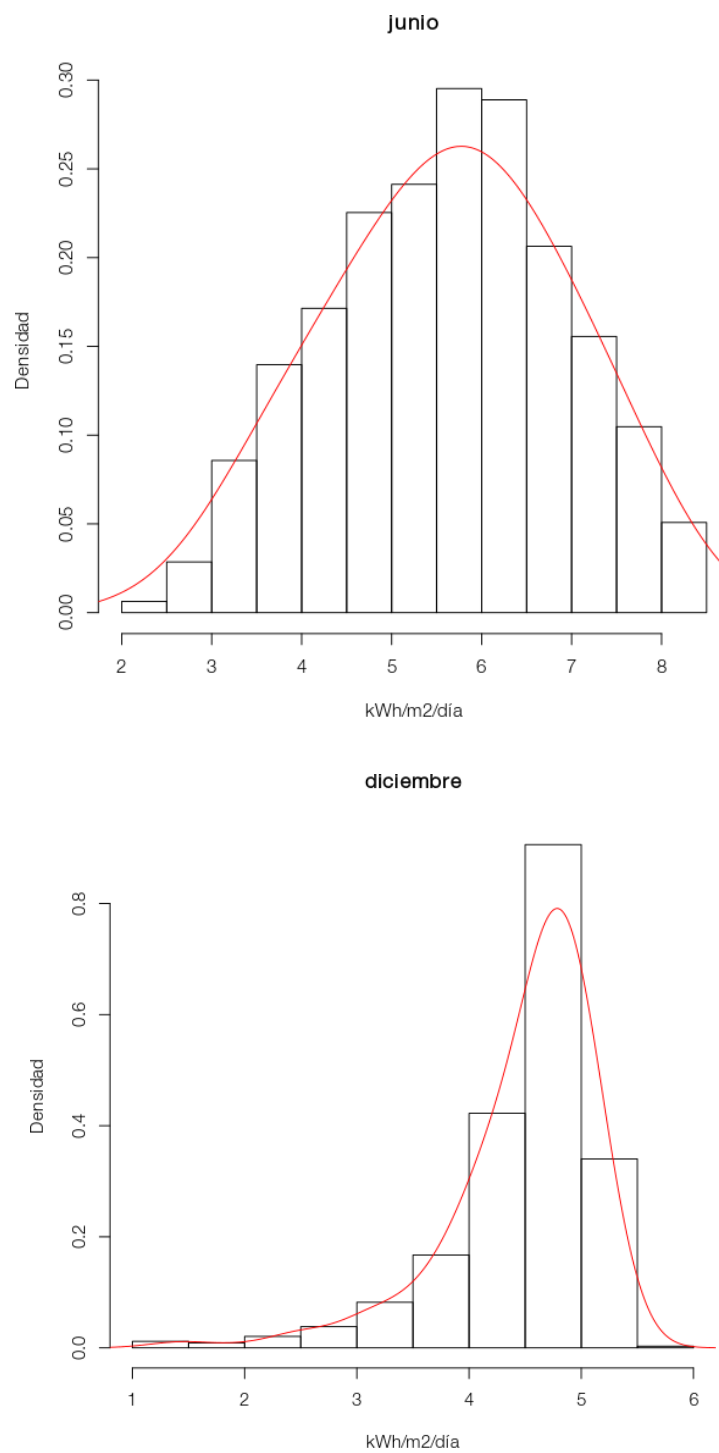
qué tanto potencial de energía solar existe, es posible empezar a formular un modelo computacional que pueda poner en marcha una evaluación para la factibilidad de una transición energética.

Para hacer más explícito un modelo como éste, se puede incorporar la adopción de celdas solares junto con todas las características que tienen éstas como su eficiencia y tamaño; esta incorporación se entendería como la adición de objetos y el hecho de que éstos estuviesen produciendo energía renovable implicaría, en términos de la ontología, que existiría una interacción de los objetos con el espacio y el tiempo, pues dada la irradiación en cualquier etapa del año las celdas solares producirían energía. Posteriormente, la electricidad que resultaría de este proceso sería consumida por los sujetos, dando lugar a otro tipo de interacción.

Este tipo de modelo puede ayudar a diseñar modos de producción de energía solar bajo un esquema de generación distribuida; con esto, podría observarse si es posible o factible constituir cooperativas de producción solar en algunas ciudades.

Además de usar este tipo de modelación para la producción de energías limpias a través del uso de paneles solares, también es posible adecuar un modelo para la cosecha de agua de lluvia, el uso de residuos sólidos orgánicos para la producción de biogás, etcétera.

Gráfica IV.1. Distribución de irradiación promedio diaria para la región de Cholula durante 20 años (1984 - 2004) para los meses de junio y diciembre.



Fuente: Elaboración propia con información del Centro de Datos de las Ciencias Atmosféricas de la NASA.

IV.8 ¿Qué es el internet de las cosas y cómo se adecua esta tecnología a los modelos basados en agentes?

El internet de las cosas se refiere al uso de sensores que monitorean información y que transmiten ésta mediante los mismos protocolos que permiten la comunicación a través de internet. En otras palabras, cuando un usuario solicita cierta información de una página disponible en internet, este usuario ingresa una dirección en el programa que funge como explorador *web* y, al ingresar tal dirección, el explorador muestra sobre la pantalla de la computadora la información que fue solicitada.

A *grosso modo*, lo que sucede en esta interacción no sólo es un relación entre la computadora personal del usuario y éste mismo. Una dirección de internet funciona como una clave para poder comunicarse con otra computadora, o servidor, conectada a la red que contiene la información que el usuario requiere. Una vez que este protocolo o comunicación logra establecerse, el servidor provee la información al usuario, o cliente, para que éste pueda visualizar el contenido desde su pantalla.

Lo mismo sucede en un portal de *chat* o cualquier otra aplicación que permita la comunicación entre usuarios. Las personas escriben sus mensajes en su propia computadora o dispositivo móvil, la información contenida en el mensaje se transmite a otra computadora y ésta, que cumple el papel de un servidor, redistribuye el mensaje a los otros usuarios que estén participando en la conversación para que puedan acceder a la información desde su propio dispositivo o desde su propio cliente.

El internet de las cosas aprovecha esta tecnología para enviar información que es generada por cualquier otro tipo de sensor. Esto quiere decir que en vez de usar un teclado o un ratón para interactuar con la computadora y comunicarse con un servidor se puede utilizar cualquier otra cosa; de ahí surge el término de internet de las cosas. En este sentido, pueden utilizarse todo tipo de dispositivos para transmitir información; esto es particularmente útil si lo que se desea es monitorear información ambiental o información relevante sobre cómo los sujetos interactúan con otros objetos en el tiempo y espacio real.

La manera en la que esto resulta encaja con el uso de modelos computacionales basados en

agentes es para calibrar un modelo con información sobre el mundo real. Una desventaja de los modelos de simulación con agentes es que, si bien éstos pueden simular un entorno sumamente complejo y programar un escenario con una diversidad de agentes y de interacciones, los detalles explícitos pueden ser seleccionados e incorporados a plena discreción del programador; esto significa que aunque exista una herramienta capaz de hacer una representación cercana a la realidad, la representación estaría desfasada y por lo tanto sería de poca utilidad para llevar a cabo planes o proyectos reales. En relación a la ontología y a lo que Wittgenstein escribió en el *Tractatus*, la configuración de los elementos del modelo no correspondería a la configuración de los elementos de la realidad.

El enfoque mixto entre estas dos tecnologías, por ende, permitiría llevar una contabilidad sobre aspectos como el consumo energético de un edificio y la disponibilidad de energía solar a través del monitoreo de la irradiación local, o el consumo de agua de una vivienda y la disponibilidad de recolección de agua pluvial. Es precisamente a través de colocar sensores en ciertos lugares dentro de las ciudades que puede recolectarse información sobre como las personas dentro de cierto espacio interactúa realmente con los recursos que tiene a su disposición. Gracias a esta información se pueden correr simulaciones más cercanas a la realidad y así se evita la necesidad de generar supuestos.

Por ejemplo, para el caso del ejemplo de simulación que se presentó anteriormente. Una arquitectura basada en el internet de las cosas puede permitir recolectar información sobre el consumo energético en varias viviendas, así como el potencial de almacenamiento de energía solar a través del uso de paneles. Con esta información pueden llevarse a cabo simulaciones ajustadas a contextos reales y recientes; de este modo, un modelo basado en agentes puede ofrecer resultados sobre el espacio de posibilidades que surgiría dado el número de personas que consumen recursos y la cantidad disponible de éstos.

En el caso de México, existen muchos vacíos de información para poder hacer una representación de asentamientos humanos en ciudades con un elevado grado de detalle. Usualmente, la información se encuentra agregada ya sea a nivel nacional, o a nivel entidad federativa. Si se desea conocer detalles sobre algún municipio, localidad o de cierto polígono compuesto de ciertas manzanas, lo más probable es que ninguna institución

ofrezca información ambiental sobre una delimitación espacial tan pequeña; por estas razones, una arquitectura informática basada en el internet de las cosas puede inclusive ayudar a recabar información para perímetros urbanos específicos y así llevar a cabo políticas ambientales sumamente locales.

IV.9 ¿Es factible el uso del internet de las cosas?

La idea del internet de las cosas puede sonar poco creíble para algunas personas, sin embargo, es más factible de lo que cualquiera creería. La razón de esto se debe a la cultura de *software* y *hardware* libre; esto se refiere al trabajo que muchas personas deciden “patentar” bajo una licencia que cede todos los derechos de propiedad a cualquier individuo que desee utilizar tal trabajo (*Creative Commons*, s.f.). Dicho de otro modo, cuando la compañía *Microsoft* desarrolló el sistema operativo *Windows*, patentó éste y se reservó para sí todos los derechos de propiedad que permiten lucrar con este producto. Una licencia de código libre, por lo contrario, permitiría que cualquier persona pudiese apropiarse del *software* y hacer con él lo que desee; ya sea que se trate de revender el programa o modificar su contenido totalmente. Este es el caso del sistema operativo *Linux*, el cual tiene una licencia completamente abierta (*Opensource*, s.f.).

¿Pero qué beneficios trae exactamente desarrollar productos y servicios con una licencia libre? Este tipo de desarrollos atraen a comunidades de participantes que trabajan para mejorar el producto de manera colectiva de tal manera que el desarrollo y madurez de un producto en particular se convierte en el esfuerzo de una comunidad de personas que trabajan para que tal producto sea una realidad. Si el trabajo para desarrollar tal producto fuese patentado bajo alguna licencia que se reservara los derechos de propiedad, entonces la factibilidad de que muchas personas formaran una comunidad alrededor del producto sería completamente nula.

La cultura de licencias abiertas ha permitido el desarrollo de muchos productos que mejoran gracias al trabajo colectivo de una comunidad. En este sentido, dado que nadie es realmente el dueño de los derechos de propiedad, podría decirse que un producto bajo una

licencia abierta es estrictamente un bien común, a diferencia de un bien público o de un bien privado. En cuanto al desarrollo de tecnologías de información, las licencias abiertas han permitido que surjan muchos productos que a su vez permiten combinarse y hacer más tecnologías. Éste es el contexto en el que el internet de las cosas se encuentra actualmente.

IV.10 Componentes de una arquitectura basada en el internet de las cosas

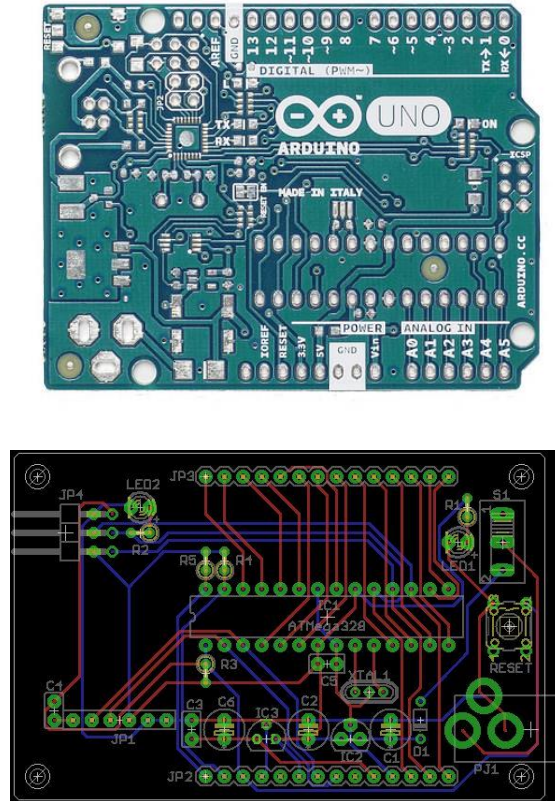
Para poder hacer una arquitectura informática de este tipo se requiere tanto de *software* como de *hardware*; para ambos existe una amplia oferta de productos que cuentan con una licencia abierta y que, en muchos casos, han sido desarrollados colectivamente. Para montar una arquitectura basada en internet de las cosas se necesitan tres ingredientes; un sensor integrado, una mini-computadora, y un servicio en la nube.

IV.10.1 Sensor integrado

Para fabricar un sensor se necesita de un microcontrolador, éste no es más que un dispositivo electrónico que permite que el sensor funcione. En otras palabras, si se quisiera monitorear consumo eléctrico o producción de energía solar a nivel doméstico, se requeriría de un sensor de corriente que esté a su vez conectado a un microcontrolador; la función de éste último es la de procesar el dato percibido por el sensor y mandar éste dato a una computadora que redistribuya o almacene la información.

Uno de los proyectos abiertos más populares y exitosos para la fabricación de microcontroladores es *Arduino*. Este producto permite desarrollar cualquier prototipo de monitoreo a través de sensores, automatización de procesos e incluso robótica. Una placa de microcontrolador *Arduino* puede comprarse a un precio cercano a los 200 pesos mexicanos, o inclusive podría fabricarse y modificarse utilizando los planos para producir éste; estos planos están registrados bajo una licencia completamente abierta.

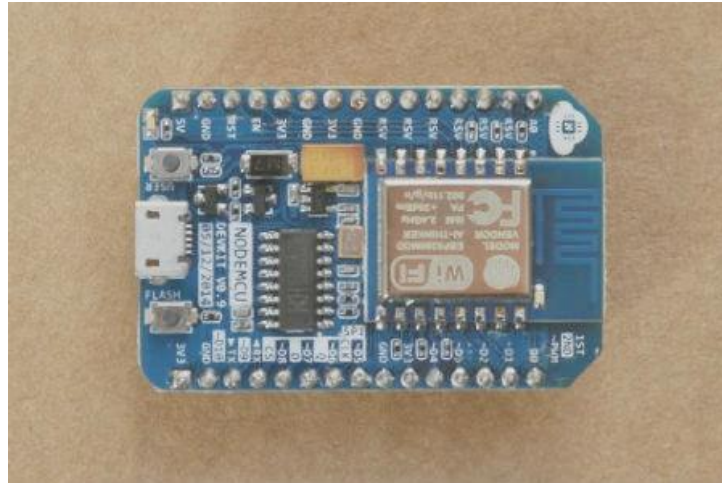
Figura IV.3. Planos de circuito eléctrico para fabricar un *Arduino* modelo UNO y muestra de uno fabricado.



Fuente: Instructables, 2012; Romano, 2014.

Gracias a que existen proyectos como Arduino han surgido otras iniciativas que toman el trabajo inicial y lo modifican para crear algo nuevo y a menor costo. Como ejemplo de esto, puede mencionarse al prototipo llamado *NodeMCU* (2014), este funciona como un *Arduino* pero también incorpora otro modelo llamado *ESP-8266* el cual puede conectarse inalámbricamente a través de los protocolos de comunicación de internet que utiliza cualquier computadora convencional. Este producto es precisamente el tipo de productos híbridos que pueden darse gracias a la existencia de comunidades de desarrolladores y a las licencias de código abierto; su costo es cuatro veces menor al de un *Arduino* y este tiene atributos adicionales como menor tamaño, mayor memoria que permite programar procesos más complejos y la capacidad de conectarse inalámbricamente.

Figura IV.4. Muestra de un NodeMCU completamente ensamblado



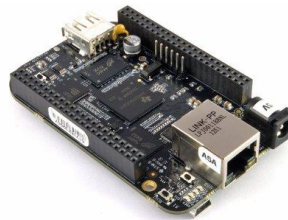
Fuente: NodeMCU, 2014.

IV.10.2 Mini-computador

Normalmente, cuando se habla de computadoras es normal visualizar un ordenador convencional con pantalla, teclado y ratón. Sin embargo, actualmente existen computadoras mucho más pequeñas y baratas a las que suelen fabricarse para uso personal y comercial. Bajo la tendencia de código y licencias abiertas, se han desarrollado computadoras del tamaño de una tarjeta de crédito aproximadamente. Este tipo de desarrollos tienen varias ventajas, la primera es su bajo costo pues el precio de éstas, dependiendo el modelo, oscila entre 200 y 1000 pesos mexicanos.

Otra de las ventajas de este tipo de computadoras es que su uso es completamente genérico. Puede fabricarse con éstas desde un nuevo modelo de computadora personal hasta una estación meteorológica. Algunas de las iniciativas con licencias abiertas más exitosas son *Raspberry Pi*, *Orange Pi* y *C.H.I.P. computer*. Estos productos requieren de un sistema operativo para funcionar, sin embargo, lo habitual es que estas computadoras cuenten con alguna distribución de *Linux*, por lo que es posible desarrollar un producto completamente libre o abierto.

Figura IV.5. Raspberry Pi, Orange Pi y C.H.I.P. computer



Fuente: Raspberry PI, s.f.; Lehrbaum, R. 2015; Spiegel Online, s.f.

IV.10.3 Servicios en la nube

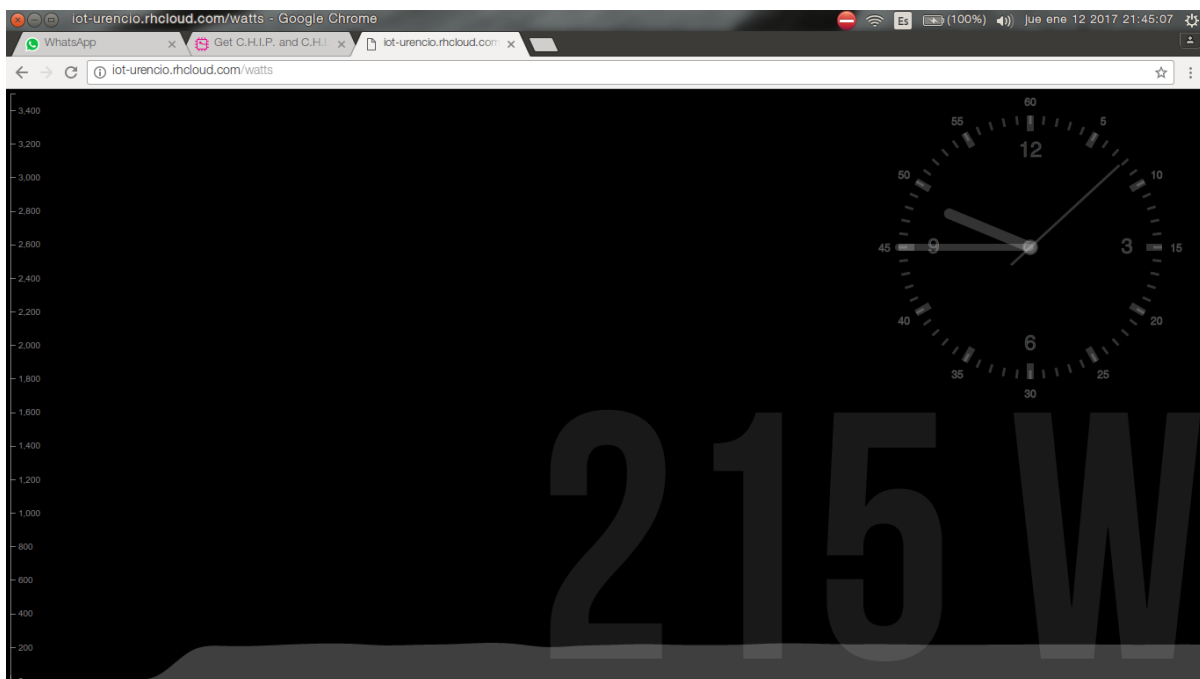
Una vez que se ensambla una arquitectura compuesta de un sensor con microcontrolador y de una mini-computadora, puede entonces mandarse información a través de internet. Para poder obtener información a tiempo real y almacenar ésta se requiere de un servidor, o varios, que ayuden a que la arquitectura funcione como un servicio integrado. Para esclarecer mejor esto puede recurrirse nuevamente a la analogía de un servicio de *chat*.

En éste una persona digita información a través de un teclado y envía un mensaje a un servidor el cual redistribuye esta información para que otros puedan acceder a ella. En un servicio basado en el internet de las cosas, simplemente se sustituye a la computadora

personal junto con el usuario por el sensor y la mini-computadora y se obtiene entonces una arquitectura funcional de internet de las cosas.

La mini-computadora tiene que estar programada para poder llevar a cabo la función de transmisión de datos a algún servidor en la nube, y esto puede lograrse de muchas maneras y a través de soluciones completamente gratuitas que cuentan también con una licencia abierta. Una vez que la información se encuentra en la nube es posible almacenar ésta o visualizarla a tiempo real a través de una página de internet.

Figura IV.6. Tablero de visualización de consumo energético en una residencia ubicada en Puebla.

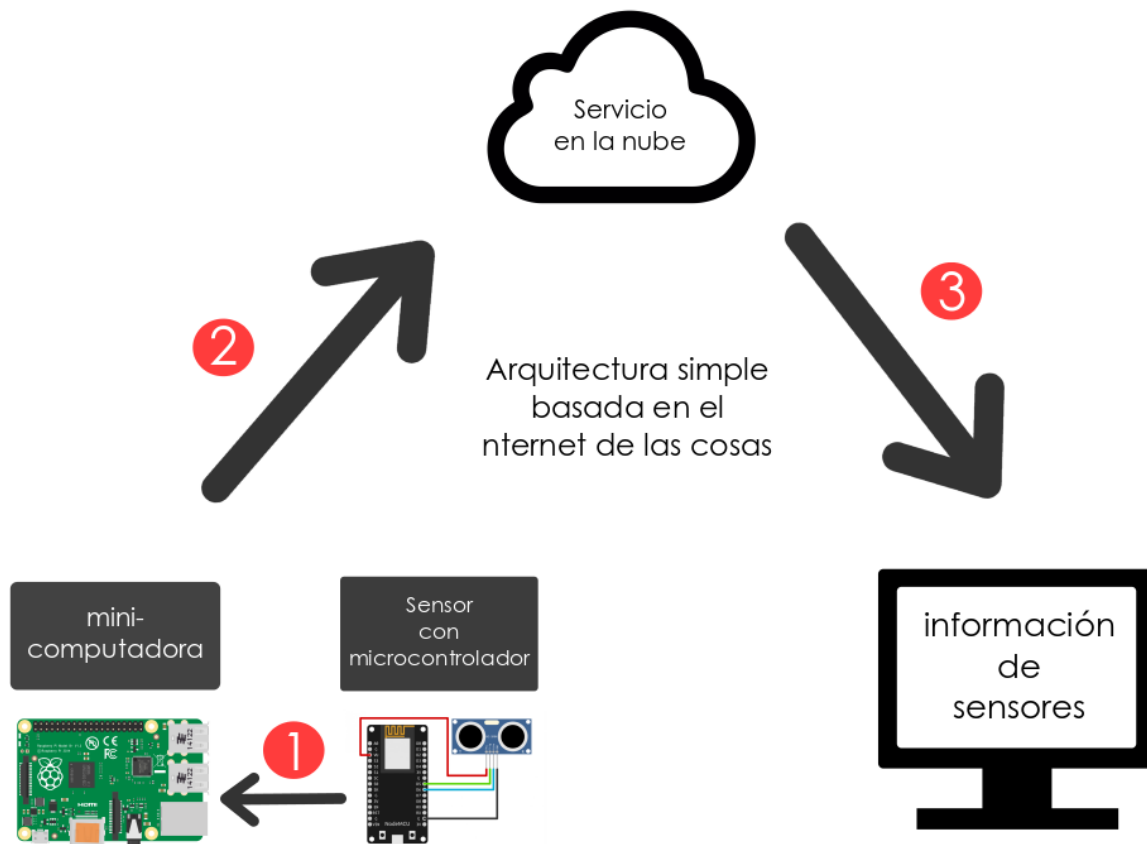


Fuente: elaboración propia.

Los servicios en la nube, en pocas palabras, se refieren al uso de servidores que pueden ser controlados de manera remota. Estos servicios no siempre son gratuitos, y a medida que se requieran mayor consumo de recursos computacionales como memoria RAM, capacidad del procesador y espacio de almacenamiento, el costo del servicio aumenta. Contratar un servicio en la nube, por ende, es como rentar capacidad computacional para ofrecer un

servicio. Existen muchas compañías que cuentan con este tipo de servicios, algunas de las más reconocidas son *Amazon Web Services* (2016) y *OpenShift* (s.f.); este último suele ofrecer convenios para proyectos que tengan una iniciativa de interés social, como proyectos filantrópicos o de preservación del medio ambiente.

Figura IV.7. Flujo de información de una arquitectura simple basada en el internet de las cosas



Fuente: elaboración propia

IV.11 Síntesis de beneficios potenciales del enfoque mixto

Recapitulando lo que se ha estado mencionando en los párrafos anteriores, el origen de este enfoque mixto surge de la necesidad de hacer representaciones cercanas a la realidad a través de modelos de simulación; estas simulaciones pretenden estar diseñadas para estudiar la complejidad inherente de los espacios urbanos contemporáneos los cuales se caracterizan por una gran diversidad interacciones de personas entre sí, y de éstas con recursos. Dado que existe una creciente preocupación por el impacto que tienen los asentamientos humanos en el entorno, el enfoque mixto aquí propuesto está diseñado para poder estudiar fenómenos sociales en ciudades que tienen una significativa incidencia ambiental.

Asimismo, este enfoque se da por las bonanzas de la cooperación multidisciplinaria, pues de no ser por el trabajo colectivo entre comunidades de desarrolladores que se apoyan tanto de tecnologías de información como licencias de derechos de propiedades completamente abiertas la concepción de esta propuesta no sería factible. También, este enfoque sirve como un ejemplo de lo que es posible fuera de las facciones ideológicas que se discutieron en capítulos anteriores; ni la ortodoxia económica ni la filosofía post-moderna sugieren apoyarse de enfoques y tendencias ajenas a lo que su propia tradición sugiere ya que la práctica en la ortodoxia económica está estrechamente atada al formalismo del cálculo infinitesimal, o análisis de variable real, que obliga a hacer supuestos simplificadores para que la lógica de las matemáticas parezca congruente con los fenómenos estudiados. Y en cuanto a la postura de la filosofía post-moderna, la actitud en relación al estudio riguroso y metodológico suele ser una acompañada de desconfianza, renuencia e incredulidad.

Desde una perspectiva epistemológica, una práctica metodológica basada en este enfoque mixto ayudaría a poner en marcha una combinación de ideas que han sido expuestas ya por Zemelman y Wittgenstein. De acuerdo al primero, es necesario recurrir a un enfoque de categorías conceptuales para hacer descripciones de la realidad para no caer en un desajuste tal y como los que se describieron en el primer capítulo; y conforme al segundo pensador, a medida que la configuración de los elementos que se enuncian a través del uso del lenguaje sea coherente con la configuración de los elementos que coexisten en la realidad, se estaría

entonces haciendo un uso coherente del lenguaje o, dicho de otro modo, si existe congruencia entre el lenguaje usado y la realidad se obtiene un modelo con significado genuino.

Una vez dicho lo anterior, el uso de una ontología para el diseño de modelos computacionales ayuda, por un lado, a hablar en términos abstractos para tratar de describir a la realidad a través de categorías conceptuales. Asimismo, el hecho de que dichas categorías puedan articularse le otorga flexibilidad al lenguaje para poder descripciones aproximadas a la realidad. Incorporar el uso del internet de las cosas para dotar de información contextual y actualizada a un modelo, permite que el uso de categorías pueda calibrarse a un escenario específico; de este modo se reduce el riesgo de caer en una representación incoherente y desfasada del mundo real. Este enfoque epistemológico es el que inspira el desarrollo de un enfoque mixto para estudiar problemas ambientales en espacios urbanos.

En relación a la posibilidad de llevar a cabo estudios usando esta propuesta, dado que las tecnologías de las que este se abastece el enfoque se han materializado gracias a la ausencia de una exclusividad de uso y de derechos de propiedad para las organizaciones que las crearon, se estima que éstas pueden ser factibles como proyectos que entren en operación en un futuro cercano dentro de algunos lugares del territorio mexicano. Con esto, se pretende generar un nuevo esbozo de estudios para poner en marcha acciones que faciliten la adaptación y mitigación al cambio climático sin comprometer la satisfacción de necesidades humanas; en otras palabras, este enfoque busca ser un promotor del desarrollo económico sustentable en espacios urbanos.

Reflexiones finales

A lo largo de este trabajo se ha planteado un problema a modo de silogismo cuya tesis se ha basado en un contexto que comprende dos posturas antagónicas pero predominantes con respecto a los problemas ambientales causados por la especie humana. Estas posturas, aunque opuestas entre sí, no han ofrecido una estrategia adecuada como tampoco un cambio radical en la cultura que las sostiene para hacer frente a las problemáticas más preocupantes de la actualidad como son la generación de emisiones de gases de efecto invernadero y el mismo cambio climático.

Es por esta omisión e incapacidad que se ha sugerido una contradicción contextual; dicho con otras palabras, la antítesis del silogismo del que se habla se basa en el hecho de que existe un grave problema ambiental cuyo origen se da por el modo en el que se ha desarrollado la especie humana tanto natural como culturalmente y dicho desarrollo atenta contra la especie misma, así como contra ecosistemas enteros. Por eso se ha dicho que existe una contradicción y el rol de las ciencias sociales debe de ser el de asignarse la tarea de resolver tal conflicto.

En este trabajo se ha hecho una propuesta; ésta no es una idea novedosa por sí misma sino un esfuerzo por explorar y recopilar aspectos epistemológicos y metodológicos ajenos a la ortodoxia económica y a la tradición post-moderna puesta de moda en la academia. En realidad, el fundamento de la síntesis que se ha planteado en este trabajo recae en hacer explícita la necesidad de innovar en la manera en la que se interpretan y estudian los fenómenos sociales que impactan en la realidad social y ambiental; y por ello, una de las maneras sugeridas para esta innovación consiste en la integración de un enfoque multidisciplinario coherente.

De acuerdo a lo anterior, la propuesta que resultó lógica y conveniente, al haber revisado algunos acontecimientos históricos que han llevado a la humanidad al contexto en el que se encuentra ahora, es enfocarse en el desarrollo de tecnologías para adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático que a su vez permitan la satisfacción de necesidades humanas, y esto es lo que en esta tesis se ha entendido como desarrollo económico.

Sin embargo, el uso de tecnología no debe de ser entendido como algo exclusivo de cierta época o de ciertas culturas. Por el contrario, desarrollar tecnología es algo que la especie humana ha hecho desde que sus capacidades cognitivas se lo han permitido, y esto ha pasado desde mucho antes que la especie se sedentarizara; por ello, el término tecnología debe de ser entendido como la adopción de artificios que alteran de modo sustantivo cierto estilo de vida. En este sentido, el desarrollo de tecnología no siempre ha sido algo puramente benéfico; pues, cómo se discutió en capítulos anteriores, el avance tecnológico que dio lugar a una confección de herramientas y armas cada vez más eficientes hace miles de años contribuyó a que el *homo sapiens* acabara con muchas especies, y en relación a una época más reciente, la innovación financiera ha llegado a sacudir al sistema económico en un a escala global.

Pero no porque la tecnología, en su acepción más amplia, pueda llegar a tener impactos que en retrospectiva impactan a la sociedad negativamente, el curso a seguir tenga que ser negar y evitar a la tecnología misma. Justamente, ante las problemáticas ambientales contemporáneas lo que se tiene que hacer es una alteración radical en el estilo de vida de las sociedades humanas, y la innovación que esto sugiere involucra la generación de tecnología implícitamente.

Es por ello que la idea central de este trabajo ha sido el uso de tecnologías de información para los problemas ambientales que, principalmente, se dan por la dinámica económica de las ciudades. Las urbes se han convertido en los ecosistemas del *homo sapiens* y los sistemas económicos en su modo de supervivencia. Y para evitar que la dinámica de las sociedades humanas continúe impactando al medio ambiente como lo ha hecho su tendencia, se requiere de métodos que permitan mayor escrutinio para la evaluación de los efectos que pueden tener las interacciones humanas en el espacio así como mecanismos que permitan corroborar y monitorear la naturaleza de dichas interacciones a lo largo del tiempo. De ahí que la propuesta consista en un enfoque mixto entre modelos basados en agentes y el internet de las cosas.

Aunque el alcance de este trabajo se somete a ciertas limitaciones, no es el propósito de esta tesis el de culminar sólo enunciando una propuesta metodológica y que ésta quede

como una mera aportación conceptual. Es por ello que en lo que resta de este apartado se profundizará en los requerimientos técnicos y de recursos para que el enfoque mixto propuesto pueda convertirse en una verdadera herramienta para el diseño y puesta en marcha de políticas públicas para la sustentabilidad urbana. Los pasos a seguir para asegurar lo anterior se centran en tres ejes distintos; éstas son de índole algorítmica, logística y de producción.

A. Consideraciones algorítmicas

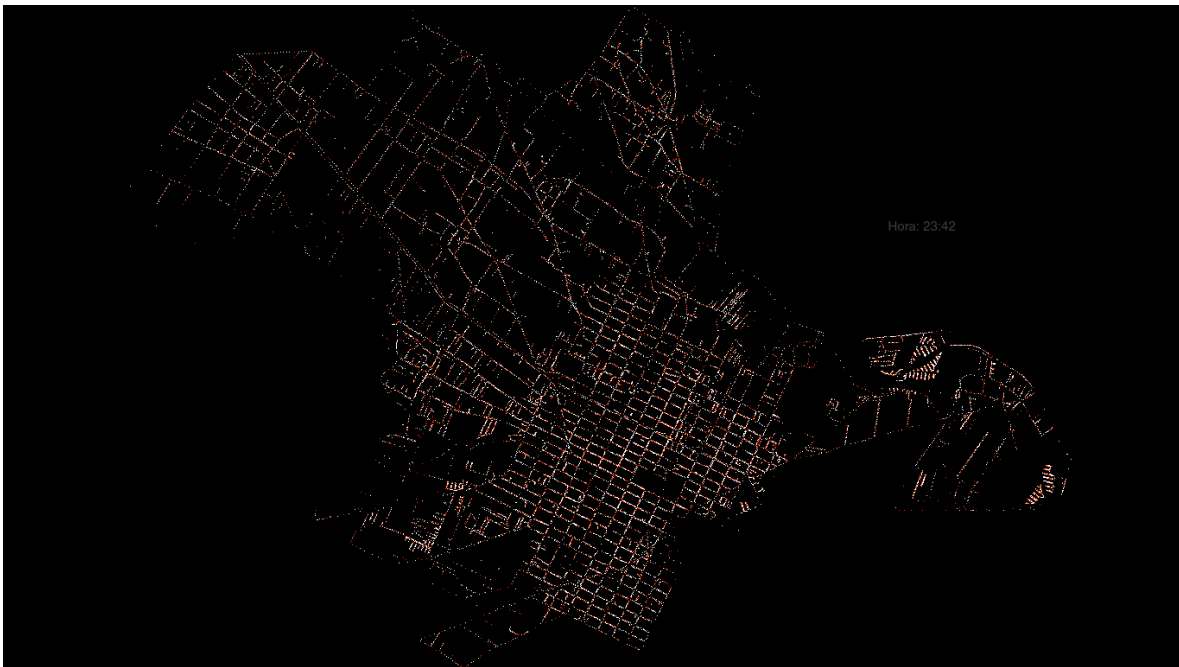
A.1 Aspectos algorítmicos para aprovechar recursos computacionales

Hacer simulaciones de sistemas complejos requiere de mucha capacidad computacional por lo que desarrollar modelos basados en agentes para ciudades muy pobladas puede resultar en una tarea muy difícil. La respuesta fácil a este problema puede reducirse a recurrir a computadoras más potentes y, por lo tanto, más costosas; no obstante, cierto tipo de algoritmos puede mejorar la eficiencia de un modelo independientemente de la capacidad computacional que se tenga.

Normalmente, una computadora utiliza su *CPU*, que por sus siglas en inglés significa unidad de procesamiento computable. Alternativamente, pueden desarrollarse programas que utilicen el *GPU* de una computadora; las siglas de este componente se refieren a la unidad de procesamiento gráfico. Éste componente es lo que se utiliza para reproducir video y animaciones en las computadoras actuales; debido a que estas unidades ayudan a computar cada uno de los píxeles que van a ser mostrado en una pantalla en cada instante, se dice que una unidad de procesamiento gráfico es muy eficiente para el cómputo en paralelo. En otras palabras, este tipo de unidades es más eficiente para realizar muchos cálculos a la vez, por lo que para el caso de la simulación de sistemas complejos que incorporan muchos elementos interactuando paralelamente en el tiempo, el desarrollo de algoritmos basados en el *GPU* son mucho más capaces que aquellos que utilizan solamente el *CPU*.

Afortunadamente, existe la opción de hacer programas que utilicen el *GPU* y que puedan ser mostrados a través de un explorador de internet. Con esto es posible desarrollar aplicaciones que aprovechen una arquitectura de internet de las cosas y que también sean capaces de hacer simulaciones con múltiples agentes. Para ello, se puede utilizar aplicaciones ya existentes que cuentan con una licencia abierta por lo que el costo de incorporarlas a un modelo es completamente nulo. Dos ejemplos de aplicaciones disponibles son la librería *THREE.js* (s.f.) y el lenguaje de programación *WebGL* (Khronos Group, 2017).

Figura A.1. Prototipo de modelo basado en agentes desarrollado con *THREE.js* y *WebGL*



Fuente: elaboración propia.

A.2 Aspectos algorítmicos para calibrar la diversidad de un modelo

Ni el diseño ni la programación de un modelo basado en agentes son suficientes para hacer una representación cercana y consistente con el espacio real que se quiere estudiar. El modelo es en sí una herramienta que puede resultar útil, pero si ésta está completamente

desfasada de la verdadera configuración de los elementos correspondientes al fenómeno real, el modelo es entonces un recurso obsoleto.

Anteriormente se mencionó que la incorporación de una arquitectura de internet de las cosas puede solucionar el problema sobre la falta de conocimiento en relación a la interacción real que los sujetos mantienen con ciertos objetos. En este sentido, se puede conocer el consumo de agua o de electricidad que los agentes mantienen; no obstante, esto no aporta detalles explícitos sobre las características de una vivienda como el número y el tipo de aparatos electrodomésticos o automóviles que sus integrantes poseen. Estos detalles pueden resultar útiles para conocer el estilo de vida que los habitantes de una ciudad tienen y cómo este estilo de vida puede generar un problema ambiental (Baiocchi, G., Minx, J. & Hubacek, K., 2010).

Existen, sin embargo, encuestas que ofrecen detalles de este tipo como la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares (ENIGH), pero este tipo de estudios ofrecen una cantidad limitada de información pues su objetivo es obtener una muestra lo suficientemente grande que permita realizar inferencias sobre aspectos agregados; esto significa que la encuesta es útil para conocer detalles como cuánto gasta la población nacional en gasolina o en colegiaturas, por ejemplo, pero la muestra no puede esclarecer cómo se distribuyen los perfiles socio-económicos de una localidad urbana por manzana o por región urbana (INEGI, 2015).

Algunas técnicas algorítmicas que pueden ayudar a develar detalles sobre la distribución de perfiles demográficos en el espacio urbano son aquellas que entran dentro del ámbito del aprendizaje de máquinas o, por su nombre en inglés, *machine learning*. Algunos economistas han explorado estas técnicas e incluso han sido valoradas como técnicas con mayor utilidad en comparación a lo que la econometría convencional puede aportar (Varian, 2014).

Una de las bonanzas de estas técnicas es que pueden utilizarse para la clasificación de datos para los que no se sabe anticipadamente a que clasificación corresponderían. Para hacer esto se requiere de una muestra con datos que sí tengan una clasificación identificada, y a

partir de las características que estos datos tengan se adecua un algoritmo para inferir las características de aquellos datos no clasificados.

Para ejemplificar lo anterior, puede usarse la información contenida en la ENIGH para obtener las observaciones sobre los hogares que cuentan con focos ahorradores y la cantidad que se tiene de estos mismos. El hecho de contar con focos ahorradores podría insinuar que las personas que afirmaron tenerlos tienden a cuidar sus finanzas personales o a tener cierta conciencia ambiental por el consumo que mantienen; si este fuese el caso no sería sorprendente encontrarse con que este perfil se asocia con viviendas que cuentan con calentadores solares o que no tienen automóvil.

Dado que la ENIGH cuenta con un número de observaciones limitadas, se utiliza un porcentaje de estos datos para ajustar un modelo que después catalogue a observaciones no contenidas en la ENIGH, esperando que el algoritmo capte adecuadamente qué tipo de atributos se asocian entre sí; en este sentido, un algoritmo de aprendizaje de máquinas “aprendería” a reconocer patrones y atributos de aquellas viviendas que cuentan con focos ahorradores. Y el porcentaje de datos que no fue utilizado para ajustar el modelo es después usado para corroborar qué tan bien el algoritmo clasificó a los datos que fueron usados para ajustar el modelo. Una vez que se ajustó un modelo de clasificación, le son introducidas observaciones no contenidas en la ENIGH para tratar de inferir si cuentan o no con los atributos que el investigador está buscando.

En el caso de los focos ahorradores, si se pretende inferir el rango de focos ahorradores que una vivienda puede tener de acuerdo a las características que ya posee, simplemente se insertan observaciones adicionales al modelo para que esté arroje una estimación. Algunas técnicas que resultan útiles para este tipo de tareas son los árboles de decisión, *a priori* y las redes neuronales artificiales²⁵. Asimismo, el algoritmo inspirado en redes neuronales puede ser útil para simular capacidades cognitivas a los agentes dentro de un modelo y así evitar que estos tengan un comportamiento rígido y arbitrario.

25 Para mayores detalles sobre técnicas de aprendizaje de máquinas puede consultarse a Lantz (2013).

B. Consideraciones logísticas

Para procurar la factibilidad del enfoque mixto propuesto tiene que considerarse que no sólo se trata de una propuesta metodológica que se limita a una expresión meramente conceptual; el enfoque propuesto está diseñado para funcionar como un servicio real que requiere de servidores en funcionamiento y de recursos humanos que le den mantenimiento.

Por ello, esta propuesta no se hace como un mero esbozo conceptual cuya pertinencia es exclusiva del tipo de investigación que se hace en la academia. Un enfoque mixto entre modelos basados en agentes y el internet de las cosas tiene el potencial de funcionar como un servicio de consultoría en sustentabilidad urbana tanto para tomadores de decisiones como para la población en general.

C. Consideraciones sobre la producción

Para que un servicio como el propuesto pueda sostenerse a lo largo del tiempo, es importante que pueda estandarizarse la producción de los componentes que son necesarios para que la arquitectura funcione. Afortunadamente, muchos de los componentes cuentan ya con licencias abiertas que ayudan a que su costo se mantenga bajo; por ello, el ensamble que se requiere para poner en funcionamiento del servicio en total debe de mantenerse bajo esquemas de propiedad similares, de este modo se facilita que la accesibilidad del servicio exista para cualquier persona.

Asimismo, es importante que junto con el fomento de licencias abiertas se desarrollen documentaciones claras y extensas que permitan replicar el proyecto. Si estos dos componentes se garantizan, la probabilidad de que se formen comunidades alrededor del servicio puede aumentar considerablemente. Esto se debe a que la reproducción del enfoque no se limitaría a un grupo reducido de académicos o a algún corporativo que se apropie del proceso de producción.

Bibliografía

- (1919). *The treaty of peace between the allied powers and Germany*. Obtenido en noviembre 19, 2015 de: http://www.opbw.org/int_inst/sec_docs/1919VC-TEXT.pdf
- Abdou, M., Hammil L. & Gilbert N. (2012) *Designing and Building an Agent-Based Model* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., “Agent-Based Models of Geographical Systems” (pp. 219-252). Dordrecht: Springer.
- Acerbi, A. & Parisi, D. (2006). *Cultural Transmission between and within Generations*. *Jasss* 9(1): 1–16. Obtenido en mayo 2, 2016 de <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/1/9.html>
- Amazon Web Services (2016). *Cloud Computing Services*. Obtenido de: <https://aws.amazon.com/es/>
- AMDA. 2015. *Reporte de Mercado Interno Automotor: Diciembre 2015*. Obtenido en abril 8, 2016 de http://www.amda.mx/images/stories/estadisticas/coyuntura/2015/ventas/1512Reporte_Mercado_Automotor.pdf.
- An international students call for pluralism in economics* (2014, Mayo 5). Obtenido en enero 3, 2016 de <http://www.isipe.net/open-letter/>
- Anscombe, F J. (1973). *Graphs in Statistical Analysis*. *The American Statistician* 27(1): 17–21. Obtenido en mayo 2, 2016 de: <http://www.sjsu.edu/faculty/gerstman/StatPrimer/anscombe1973.pdf>.
- Audi, Robert. (2003). *Epistemology: A Contemporary Introduction to the Theory of Knowledge*. 2° ed. Routledge.
- Athey, S., & Guido W.I. (2015). *Machine Learning Methods for Estimating Heterogeneous Causal Effects*. Obtenido en mayo 9 de <https://faculty-gsb.stanford.edu/athey/documents/HeterogeneousEffects.pdf>.
- Axtell, R.L. et al. (2002). *Population Growth and Collapse in a Multiagent Model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(1): 7275–79. Obtenido en mayo 3, 2016 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC128597/pdf/pq10u2007275.pdf>.
- Aylesworth, G. (2005, septiembre 30). *Postmodernism*. Obtenido en enero 12, 2016 de <http://plato.stanford.edu/entries/postmodernism/>
- Baiocchi, G., Minx, J. & Hubacek, K. (2010). *The Impact of Social factors and Consumer Behavior on Carbon Dioxide Emissions in the United Kingdom*. *Journal of Industrial Ecology*, 14 (1).
- Banco Mundial. (2005). *Global monitoring report 2005*. (1 ed., p. 280). Washington, EEUU:

Banco Mundial. Obtenido en noviembre 17, 2015 de <http://siteresources.worldbank.org/GLOBALMONITORINGEXT/Resources/complete.pdf>

Banco Mundial (2010). *Global Monitoring Report – The MDGs after the Crisis*. Obtenido en noviembre 17, 2015 de <http://siteresources.worldbank.org/INTPROSPECTS/Resources/334934-1327948020811/8401693-1327957257247/8402460-1328631318777/GMR2010WEB.pdf>

Barnosky, A D et al. (2004). *Assessing the Causes of Late Pleistocene Extinctions on the Continents*. *Science* 306(2004): 70–75. Obtenido en febrero 19, 2016 de <http://www.clim-past.net/9/1761/2013/cp-9-1761-2013.pdf>

Backhouse, R.E. (2002). *The penguin history of economics*. Penguin Books. Obtenido en enero 10, 2016 de <https://www.scribd.com/doc/244504365/BACKHOUSE-The-Penguin-History-of-Economics-pdf>

Barros J. (2012) *Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 571-589). Dordrecht: Springer.

Batty, M. (2008). *Cities as Complex Systems: Scaling Interactions, Networks, Dynamics and Urban Morphologies*. *UCL Working Papers Series 131(0): 0–62*. Obtenido en abril 30, 2016 de <http://discovery.ucl.ac.uk/15183/1/15183.pdf>

Batty, M. (2009). *Complexity And Emergence In City Systems : Implications For Urban Planning*. *10(1): 15–32*. Obtenido en mayo 1, 2016 de: <https://core.ac.uk/download/files/365/11491336.pdf>

Batty, M. (2011). “*Cities, Complexity, and Emergent Order.*” Obtenido en mayo 1, 2016 de <http://www.complexcity.info/files/2011/09/BATTY-CITIES-ERA21.pdf>

Batty M. (2012) *A Generic Framework for Computational Spatial Modelling* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., “*Agent-Based Models of Geographical Systems*” (pp. 19-50). Dordrecht: Springer.

Batty, M. (2015) *Cities in Disequilibrium*. UCL Working Papers Series (202). Obtenido en mayo 2, 2016 de https://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/pdf/Working_Paper_202.pdf.

Bednarik, Robert G. (1999). *Maritime Navigation in the Lower and Middle Palaeolithic*. *Comptes Rendus de l’Academie de Sciences - Serie IIa: Sciences de la Terre et des Planetes* 328(8): 559–63. Obtenido en febrero 10, 2016 de <http://www.ifrao.com/wp-content/uploads/2014/12/ComptesRendus1999.pdf>

Beinhocker, E. (2008). *The origin of Wealth*. Boston: Harvard Business School Press.

Bellwood, Peter, & Marc Oxenham. (2008). *The Expansions of Farming Societies and the Role of the Neolithic Demographic Transition*. *The Neolithic Demographic Transition and*

its Consequences: 13–34. Obtenido en abril 7, 2016 de http://archanth.anu.edu.au/sites/default/files/documents/bellwood_oxenham.pdf.

Bentham, J. (1879). *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*. Obtenido en enero 6, 2016 de <https://archive.org/details/anintroductiont01bentgoog>.

Bianchi, F. (2012). *From Micro to Macro and Back Again : Agent-Based Models for Sociology*: 1–21. Obtenido en mayo 12, 2016 de https://www.researchgate.net/publication/260627137_DRAFT_From_Micro_to_Macro_and_Back_Again_Agent-Based_Models_for_Sociology

Boas, M. (2001). *Multilateral development banks and sustainable development: The strategy of depoliticisation*. En Biermann, F., Brohm, R., Dingwerth, K. (Eds.), *PIK Report* (pp. 434-440). Obtenido en noviembre 17, 2015 de <http://www.pikpotsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr80.pdf>

Boisier, S. (1999). *Desarrollo (local): ¿De qué estamos hablando?*

Bowles, Samuel. (2011). *Cultivation of Cereals by the First Farmers Was Not More Productive than Foraging*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(12): 4760–65. Obtenido en febrero 25, 2016 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3064343/>

Box G.E.P., Hunter J.S. & Hunter W.G. (2005). *Statistics for Experimenters: Design, Innovation and Discovery* (2° ed.). Nueva Jersey: Wiley-Interscience.

Brault, M. O., L. A. Mysak, H. D. Matthews, and C. T. Simmons. (2013). *Assessing the Impact of Late Pleistocene Megafaunal Extinctions on Global Vegetation and Climate*. *Climate of the Past* 9(4): 1761–71. Obtenido en febrero 25, 2016 de <http://www.clim-past.net/9/1761/2013/cp-9-1761-2013.pdf>.

Brook, B W, and D M J S Bowman. (2004). *The Uncertain Blitzkrieg of Pleistocene Megafauna*. *Journal of Biogeography* 31(4): 517–23. Obtenido en febrero 20, 2016 de https://www.researchgate.net/publication/229526853_The_uncertain_blitzkrieg_of_Pleistocene_megafauna_Guest_Editorial.

Buchanan, M. (2003). *Nexus: Small Worlds and the Groundbreaking Science of Networks*. W.W. Norton & Company.

Chappell, B. (2015, octubre 8). *'It Was Installed For This Purpose,' VW's U.S. CEO Tells Congress About Defeat Device*. Obtenido en enero 15, 2016 de <http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2015/10/08/446861855/volkswagen-u-s-ceo-faces-questions-on-capitol-hill>

Chomsky, N. (1993). *Year 501: The conquest continues*. Black Rose Books.

Colección Schoyen (s.f). *Complex Counting Tokens*. Obtenido en abril 6, 2016 de <http://www.schoyencollection.com/mathematics-collection/pre-literate-counting/complex->

counting-tokens-ms-4522-1

Colección Schoyen. (s.f.). *Mathematical calculations on carrying bricks and mud. Babylonia, 19th c.BC.* Obtenido en abril 4, 2016 de http://www.schoyencollection.com/media/djcatalog2/images/mathematical-calculations-on-carrying-bricks-and-mud_f.jpg

Coraggio, J. L. (2005). *Desarrollo regional, espacio local y economía social.*

Cordain, L., Miller, J. B., Eaton, S. B., Mann, N., Holt, S. H. A., & Speth, J. D. (2000). *Plant-animal subsistence ratios and macronutrient energy estimations in worldwide hunter-gatherer diets.* American Journal of Clinical Nutrition, 71(3), 682–692. Obtenido en febrero 17, 2016 de <http://ajcn.nutrition.org/content/71/3/682.full.pdf>

Creative Commons (s.f.). *Sobre las licencias: Lo que nuestras licencias hacen.* Obtenido de: <http://creativecommons.org/licenses>

Crooks, A.T. & Heppenstall A.J. (2012) *Introduction to Agent-Based Modelling* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., “*Agent-Based Models of Geographical Systems*” (pp. 85-105). Dordrecht: Springer.

Crooks, A.T. & Castle C.J.E. (2012) *The integration of Agent-Based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 219-252). Dordrecht: Springer.

De la Garza Toledo, E. (1988). *Hacia una metodología de la reconstrucción.* Porrúa, México.

DeBord, M. (2015, Diciembre 1). *VW's sales got destroyed in November.* Obtenido en abril 8, 2016 de <http://www.businessinsider.com/vws-us-sales-got-destroyed-in-november-2015-12>

Dean, J. et al. (2000). *Understanding Anasazi Culture through Agent-Based Modeling. Dynamics in Human and Primate Societies:* 179–205. Obtenido en mayo 7, 2016 de <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/98-10-094.pdf>.

De Sousa Santos, B. (2009). *Una epistemología del sur: La reinención del conocimiento y la emancipación social.* Siglo XXI Editores.

Diamond, Jared. (1999). *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies.* W. W. Norton & Company.

Dudley, W.C & Hubbard, R.C. (2004). *How Capital Markets Enhance Economic Performance and Facilitate Job Creation.* Obtenido en diciembre 5, 2015 de <https://www0.gsb.columbia.edu/faculty/ghubbard/Articles%20for%20Web%20Site/How%20Capital%20Markets%20Enhance%20Economic%20Performance%20and%20Facilit.pdf>

Easterly, W. (2008). *Can the west save Africa?* Documento de trabajo no 14363, NBER. Obtenido en noviembre 17, 2015 de <http://www.nber.org/papers/w14363>

- Easterly, W., & Williamson, C. R. (2011). *Rhetoric versus reality: The best and worst of aid agency practice*. *World Development*, 39(11), 1930-1949. Obtenido en noviembre 18, 2015 de http://williameasterly.files.wordpress.com/2010/08/61_easterly_williamson_rhetoricvsrealit y_prp.pdf
- Epstein, J.M., & R. Axtell. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. R.R Donelley and Sons Co.
- Eriksson, Anders et al. (2012). *Late Pleistocene Climate Change and the Global Expansion of Anatomically Modern Humans*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Obtenido en febrero 26, 2016 de <http://www.pnas.org/content/109/40/16089.full.pdf>
- Estrada, F & Tol, R. 2015. *Toward Impact Functions for Stochastic Climate Change*.
- Estrada-Belli, F. (2012). *Early Human - Environment Interactions in the Maya Lowlands , Archaeological and Paleoenvironmental Explorations at Dos Aguadas and Holmul , Peten , Guatemala*. Obtenido en febrero 25, 2016 de http://www.bu.edu/holmul/reports/informe_2012_en_layout.pdf.
- Fausett, L. (1993). *Fundamentals of Neural Networks*. 1° ed. Pearson
- Ford, A. (2014). *John Wilkins – Feyerabend, Wittgenstein & Popper*. Obtenido en enero 10, 2016 de <https://www.youtube.com/watch?v=4Xo0LHCooQ>
- Fraser, P J et al . (2001). *New Ages for the Last Australian Megafauna: Continent-Wide Extinction about 46,000 Years Ago*. *Science* 292(5523): 1888–92. Obtenido en febrero 11, 2016 de <https://www.uow.edu.au/content/groups/public/@web/@sci/@eesc/documents/doc/uow014698.pdf>.
- Friberg, Jöran. (2008). *A Remarkable Collection of Babylonian Mathematical Texts*. *Notices of the AMS* 55(9): 1076–86. Obtenido en abril 5, 2016 de <http://www.ams.org/notices/200809/tx080901076p.pdf>.
- Fundación Bradshaw (s.f.). *An acheulean handaxe, Haute-Garonne France*. Obtenido en abril 6, 2016 de <http://www.bradshawfoundation.com/origins/images/acheulean9a.jpg>
- Gibbons, A. (2007). *Food for Thought*. *Science* 316(5831): 1558–60. Obtenido en febrero 6, 2016 de <http://science.sciencemag.org/content/sci/316/5831/1558.full.pdf>.
- Gilbert, N., and Troitzsch K.G. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. 2da ed. McGraw-Hill.
- Gilbert, N. et al. (2006). *Emerging Artificial Societies through Learning*. *Jasss* 9(2): 135–54. Obtenido en abril 12, 2016 de

https://www.researchgate.net/publication/5140464_Emerging_Artificial_Societies_Through_Learning

Gudynas, E. (2004). *Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible*. Coscoroba Ediciones.

Harari, Y. N. (2014). *Sapiens: A Brief History of Human Kind*. (Versión electrónica).

Harari, Y. N. (2015). *What explains the rise of humans?* Obtenido en abril 7, 2016 de https://www.ted.com/talks/yuval_noah_harari_what_explains_the_rise_of_humans#t-762012

Harmand, S., Lewis, J. E., Feibel, C. S., Lepre, C. J., Prat, S., Lenoble, A., ... Roche, H. (2015). *3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya*. *Nature*, 521(7552), 310–315. Obtenido en enero 23, 2015 de http://geology.rutgers.edu/images/Publications_PDFS/Harmand_et_al_2015_short.pdf

Harvey, D. (s.f). *Class 01 Reading Marx's Capital Vol I*. Obtenido julio 11, 2015 de <https://www.youtube.com/watch?v=gBazR59SZXk>

Hebert, A. (2015, septiembre 15). *ARB Letter to VW*. Obtenido en enero 15, 2016 de http://www.arb.ca.gov/newsrel/in_use_compliance_letter.htm

Herndon, T., Ash, M., & Pollin, R. (2013). *Does High Public Debt Consistently Stifle Economic Growth? A Critique of Reinhart and Rogoff*. (Political Economy Research Institute No. 322). Obtenido en enero 4, 2016 de http://www.peri.umass.edu/fileadmin/pdf/working_papers/working_papers_301-350/WP322.pdf

Holland, J.H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press.

Holland, J.H. (1996). *“Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity.”*

Holland, J.H. (2012). *Signals and Boundaries: Building Blocks for Complex Adaptive Systems*. The MIT Press.

Iltanen, S. (2012). *Cellular automata in urban spatial modelling*. In A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See & M. Batty (Eds.), *Agent-based models of geographical systems* (pp. 69–84). Dordrecht: Springer.

INEGI (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda.

INEGI (2014). Censos Económicos 2014.

INEGI (2015). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares. ENIGH 2014. Diseño muestral. Obtenido de:

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825070359.pdf

INEGI (2016). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.

Ingrao, B. & Israel, G. (1990). *The invisible Hand: Economic Equilibrium in the History of Science*. (versión electrónica).

Instructables (2012). Obtenido de: <http://www.instructables.com/file/F5MR90PH0OJ7A24>

Jackes, Mary, David Lubell, and Christopher Meiklejohn. (1997). *On Physical Anthropological Aspects of the Mesolithic - Neolithic Transition in the Iberian Peninsula*. *Current Anthropology* 38(5): 839–46. Obtenido en abril 2, de https://www.researchgate.net/publication/249179623_On_Physical_Anthropological_Aspects_of_the_Mesolithic-Neolithic_Transition_in_the_Iberian_Peninsula_1.

James, Steven R. (1989). *Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene*. *Current Anthropology* 30(1): 1–26. Obtenido en enero 28, 2016 de <http://www.lowimpact.org/wp-content/uploads/Hominid-Use-of-Fire-in-the-Lower-and-Middle-Pleistocene.pdf>.

Janssen, M.A. (2009). *Understanding Artificial Anasazi*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 12(4). Obtenido en mayo 3, 2016 de <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/13.html>

Jorgue Volpi: La literatura mexicana no existe como marca de fábrica. (2011). Aviondepapel.tv. Obtenido en enero 4, 2016 de <https://www.youtube.com/watch?v=SXuYhmF4UhY>

Johnson, B.R., & Lam, S.K. (2010). *Self-Organization, Natural Selection, and Evolution: Cellular Hardware and Genetic Software*. *BioScience* 60(11): 879–85. Obtenido en mayo 2, 2016 de <http://bioscience.oxfordjournals.org/content/60/11/879.full.pdf>

Kennedy, C., Pincetl, S. & Bunje, P. (2010). *The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design*. *Environmental Pollution* xxx (2010) 1-9.

Kohler, T.A. (2000). *Putting Social Sciences Together Again. An Introduction to the Volume* en Kohler T.A. & Gumerman G.J., “*Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modeling of Social and Spatial Processes*” (pp. 1-18). Oxford & Nueva York: Oxford University Press.

Knafo, A. & Schwartz, S. H. (2001) *Value Socialization in Families of Israeli-Born and Soviet-Born Adolescents in Israel*. *Journal of Cross-Cultural Psychology* 32(2): 213 – 228.

Koch, Paul L., and Anthony D. Barnosky. (2006). *Late Quaternary Extinctions: State of the Debate*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37(1): 215–50. Obtenido en febrero 21, 2016 de http://ib.berkeley.edu/labs/barnosky/Koch_and_Barnosky_2006.pdf.

- Lander, E. (2000). *Ciencias sociales: saberes coloniales y eurocéntricos*. Obtenido en enero 21, 2016 de <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/lander/lander1.rtf>
- Lantz, B. (2013). *Machine Learning with R: Learn how to use R to apply powerful machine learning methods and gain an insight into real-world applications*.
- Leff, E. (1998). *Saber ambiental: Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo XXI Editores.
- Leff, E. (2008). *Decrecimiento o deconstrucción de la economía: Hacia un mundo sustentable*.
- Lepre, Christopher J et al. (2012). *An Earlier Origin for the Acheulian*. *Nature* 477(7362): 82–85. Obtenido en enero 21, 2015 de <http://academiccommons.columbia.edu/catalog/ac%3A155818>.
- Lehrbaum, R. (2015). *\$15 Orange Pi PC hacker SBC packs 1.6Hz quad-core SoC*. LinuxGizmos. Obtenido de: <http://linuxgizmos.com/15-dollar-orange-pi-pc-hacker-sbc-packs-quad-core-soc/>
- Ley *Glass-Steagall* (1933). Obtenido en diciembre 8, 2015 de <https://archive.org/details/FullTextTheGlass-steagallActA.k.a.TheBankingActOf1933>
- Ley *Gramm-Leach-Bliley* (1999). Obtenido en diciembre 8, 2015 de: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/STATUTE-113/pdf/STATUTE-113-Pg1338.pdf>
- Livet, P., Müller, J., Phan, D. & Sanders L. (2010). *Ontology, a mediator for Agent-Based Modeling in Social Science*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 13 (1) 3.
- Lubell, David et al. (1994). *The Mesolithic-Neolithic Transition in Portugal: Isotopic and Dental Evidence of Diet*. *Journal of Archaeological Science* 21(2): 201–16. Obtenido en abril 2, 2016 de https://www.researchgate.net/publication/247931394_The_Mesolithic-Neolithic_Transition_in_Portugal_Isotopic_and_Dental_Evidence_of_Diet.
- Lyotard, J.F. (1984). *The Postmodern Condition: A report on Knowledge*. Obtenido en enero 12, 2016 de https://www.abdn.ac.uk/idav/documents/Lyotard_-_Postmodern_Condition.pdf
- Marchionatti, R. (2009). *Paretos Influence on Modern Economics en New Essays on Pareto's Economic Theory, editado por Bruini, L. & Montesano, A*. Obtenido en enero 8, 2016 de <https://books.google.com.mx/books?id=Z6Z8AgAAQBAJ&pg=PA111&lpg=PA111&dq=Paretos+Influence+on+Modern+Economics+en+New+Essays+on+Pareto%27s+Economic+Theory&source=bl&ots=ANog-QhfH6&sig=1MNJM5pQfsRHknNiJ9DNBPnxDPw&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiBou3KzrnNAhVi44MKHTr0AQsQ6AEIHDAA#v=onepage&q=john%20hicks&f=false>
- Macy, M.W., & Willer R. (2001). *From Factors to Factors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling*. *Annual Review of Sociology* 28(1): 143–66. Obtenido en mayo 3,

2016 de http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/Macy_Factors_2001.pdf

Marsh, B. (2011, octubre 2). *It's All connected: An overview of the Euro Crisis*. Obtenido en diciembre 10, 2015 de <http://www.nytimes.com/interactive/2011/10/23/sunday-review/an-overview-of-the-euro-crisis.html>

Mary W. Marzke, R.F. Marzke. (2000). *Evolution of the Human Hand : Approaches to Acquiring , Analysing and Interpreting the Anatomical Evidence*. *Journal of Anatomy*: 121–40. Obtenido en enero 24, 2016 de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1468111/pdf/joa_1971_0121.pdf.

Magee, B. (1987). *A.J. Ayer on “Logical Positivism”*. En *Men of Ideas*, BBC. Obtenido en mayo 9, 2016 de <https://www.youtube.com/watch?v=4cnRJGs08hE>

Magaña. F. (1995). *Matemáticas mayas: Raíz cuadrada*. Obtenido en noviembre 21, 2015 de http://adria.inaoep.mx/~diplomados/biblio/algebra/MatematicaMaya/coloquio_cantos_mes_oamerica.pdf

Magaña. F., (2010). . *To Learn Mathematics: Mayan Mathematics in base 10*. Obtenido en noviembre 21, 2015 de <http://adria.inaoep.mx/~diplomados/biblio/algebra/MatematicaMaya/TO%20LEARN%20MATHEMATICS-MAYAN%20MATHEMATICS.pdf>

Malleson N. (2012) *Using Agent-Based Models to Simulate Crime* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., “*Agent-Based Models of Geographical Systems*” (pp. 411-434). Dordrecht: Springer.

McCormick, K., Anderberg, S., Coenen, L. & Neij, L. (2013). *Advancing Sustainable Urban Transformation. Journal of Cleaner Production 50: 1–11*.

McClung De Tapia, Emily et al. (2003). *Paleosols in the Teotihuacan Valley, Mexico: Evidence for Paleoenvironment and Human Impact*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 20(3): 270–82*. Obtenido de: [http://satori.geociencias.unam.mx/20-3\(9\)McClung.pdf](http://satori.geociencias.unam.mx/20-3(9)McClung.pdf).

McIntyre, L. (s.f.). *Ancient Egyptian Mathematics and Computers*. Obtenido en abril 3, 2016 de <http://jwilson.coe.uga.edu/EMAT6680Fa11/McIntyre/6690%20Egyptian%20Math%20and%20Computers/Essay%201%20EgyptianMathComputers.htm>

McPherron, S. P., Alemseged, Z., Marean, C. W., Wynn, J. G., Reed, D., Geraads, D., ... Béarat, H. A. (2010). *Evidence for stone-tool-assisted consumption of animal tissues before 3.39 million years ago at Dikika, Ethiopia*. *Nature*, 466(7308), 857–860. Obtenido en enero 23, 2016 de https://www.researchgate.net/publication/45630200_Evidence_for_stone-tool-assisted_consumption_of_animal_tissues_before_339_million_years_ago_at_Dikika_Ethiopia_Nature_466_857-860

- Miguel, E., & Kremer, M. (2004). Worms: Identifying impacts on education and health in the presence of treatment externalities. *Econometrica*, 72(1), 159-217. Obtenido en noviembre 18, 2015 de <http://menu-path-blog.givewell.net/files/DWDA2009/Interventions/Deworming/Miguel Kremer Worms - Identifying Impacts on Education and Health in the Presence of Treatment Externalities.pdf>
- Miller, GH et al. (2005). *Ecosystem Collapse in Pleistocene Australia and a Human Role in Megafaunal Extinction*. *Science* 32(AUGUST): 1–4. Obtenido en febrero 14, 2016 de http://sethnewsome.org/sethnewsome/EE_files/Miller et al. 2005.pdf.
- Miller, J. H., & Page, S. E. (2007). *Complex Adaptive Systems: An introduction to computational models of social life*. Nueva Jersey & Oxfordshire: Princeton University Press.
- Mitchell, M. (2012). *Complexity: A Guided Tour*. Nueva York: Oxford University Press.
- Mochán Backal, Wolf Luis. 2016. *Contingencia*. La Unión de Morelos: 26–27. Obtenido en abril 3, 2016 de http://www.acmor.org.mx/descargas/16_mar_28_contingencia.pdf.
- Napier, J. R. (1956). *The Prehensile Movements of the Human Hand*. *The Journal of bone and joint surgery*. British volume 38-B(4): 902–13. Obtenido en febrero 2, 2015 de <http://www.boneandjoint.org.uk/content/jbjsbr/38-B/4/902.full.pdf>.
- NASA (2017). *Atmospheric Science Data Center*. Obtenido de: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>
- Niehans, J. (1990). *A history of Economic Theory: Classic Contributions, 1720 – 1980*. Johns Hopkins University Press
- NodeMCU (2014). Obtenido de: <http://www.nodemcu.com>
- Oglesby, Robert J. et al. (2010). *Collapse of the Maya: Could Deforestation Have Contributed?* *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 115(12): 1–10. Obtenido en febrero 25, 2016 de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009JD011942/pdf>.
- OpenShift (s.f.). Obtenido de: <https://www.openshift.com/>
- Opensource (s.f). *What is Linux?* Obtenido de: <https://opensource.com/resources/what-is-linux>
- Organización para las Naciones Unidas (2014). *World Urbanization Prospects: 2014 Revisions*. Obtenido en abril 10, 2016 de <http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>
- Ossendrijver, Mathieu. (2016). *Ancient Babylonian Astronomers Calculated Jupiter’s Position from the Area under a Time-Velocity Graph*.” *Science* 351(6272): 482–84. Obtenido en abril 8, 2016 de <http://science.sciencemag.org/content/sci/351/6272/482.full.pdf>.
- Page, S. E. (2010). *Diversity and Complexity*. Nueva Jersey & Oxfordshire: Princeton

University Press.

Pande, R., & Udry, C. (2005). *Institutions and development: A view from below. Trabajo de investigación, Economic Growth Center Yale University.*, Obtenido en noviembre 18, 2015 de http://www.econ.yale.edu/~cru2/pdf/institutions_draft.pdf

Pint, B., Crooks, A. T., and Geller, A. (2010), *An Agent-based Model of Organized Crime: Favelas and the Drug Trade*. 2nd Brazilian Workshop on Social Simulation, Sao Bernardo do Campo, Brazil. Obtenido en mayo 11, 2016 de <http://www.css.gmu.edu/andrew/research/favelas.html>

Piketty, T. (2014). *Capital in the Twenty-First Century* (p. 28). The Belknap Press of Harvard University Press. Versión electrónica.

Poinsot, L. (1803). *Éléments de statique*. Obtenido en enero 7, 2016 de <https://www.bibnum.education.fr/physique/mecanique/ielements-de-statiquei-louis-poinsot>

Postrel, S.R. & Feser, E. (2000). *Reality Principles: An Interview with John R. Searle*. Obtenido en enero 16, 2016 de <http://reason.com/archives/2000/02/01/reality-principles-an-intervie>

Preston, J. (1997, agosto 26). *Paul Feyerabend*. Obtenido en enero 13, 2016 de <http://plato.stanford.edu/entries/feyerabend/>

Pyka, Andreas, and Giorgio Fagiolo. (2005). *Agent-Based Modelling: A Methodology for Neo-Schumpeterian Economics*. Working Paper (272). Obtenido en mayo 2, 2016 de <http://www.wiwi.uni-augsburg.de/vwl/institut/paper/272.pdf>

Rajan, R. (2005). *Has financial development made the world riskier?* Obtenido en diciembre 5, 2015 de <http://www.nber.org/papers/w11728.pdf>

Rand W. (2012) *Business Applications and Research Questions Using Spatial Agent-Based Models* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 463-480). Dordrecht: Springer.

Ramalingam, B., Harry J., Toussaint R., & Young J. (2008). *“Exploring the Science of Complexity : Ideas and Implications for Development and Humanitarian Efforts.”* *Development* 16(February): 89. Obtenido en mayo 2, 2016 de http://www.odi.org.uk/rapid/publications/RAPID_WP_285.html

Raspberry PI (s.f.). Obtenido de: https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2015/01/Pi2ModB1GB_-comp.jpeg

Reinhart, C. M. & Rogoff, K.S. (2010). *Growth in a Time of Debt* (The National Bureau of Economic Research No. 15639). Obtenido en enero 4, 2016 de <http://www.nber.org/papers/w15639.pdf>.

- Richards, M. P. (2002). *A brief review of the archaeological evidence for Palaeolithic and Neolithic subsistence*. European Journal of Clinical Nutrition, 56(12). Obtenido en abril 1, 2016 de [http://www.direct-ms.org/pdf/EvolutionPaleolithic/Richards Arch Evid paleo diet.pdf](http://www.direct-ms.org/pdf/EvolutionPaleolithic/Richards_Arch_Evid_paleo_diet.pdf)
- Roache, S.K. & Rossi M. (2009). *The Effects of Economic News on Commodity Prices: Is Gold Just Another Commodity? IMF Working Paper 09(140)*. Obtenido en abril 27, 2016 de <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2009/wp09140.pdf>
- Robinson, J. (1962). *Economic Philosophy*. Obtenido en enero 9, 2016 de: <https://archive.org/details/EconomicPhilosophy>
- Romano, Z. (2014). *The perfect teal, new Arduino silk color and graphics*. Arduino Blog. Obtenido de: <https://blog.arduino.cc/2014/11/14/the-perfect-teal/>
- Roebroeks, Wil, and Paola Villa. (2011). *On the Earliest Evidence for Habitual Use of Fire in Europe. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(13): 5209–14. Obtenido en enero 27 de <http://www.pnas.org/content/108/13/5209.full.pdf>.
- Romer, P. (2015). *Mathiness in the Theory of Economic Growth*. American Economic Review: Papers & Proceedings 105(5): 89–93. Obtenido en mayo 15, 2016 de <https://paulromer.net/wp-content/uploads/2015/05/Mathiness.pdf>
- Salmon, I. (2003). *Surveying in Ancient Egypt*. Obtenido en abril 3, 2016 de <http://www.sage.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/salmon/salmon.htm>
- Schelling, Thomas C. 1971. *Dynamic Models of Segregation*. Journal of Mathematical Sociology 1: 143–86. Obtenido en mayo 2, 2016 de https://www.stat.berkeley.edu/~aldous/157/Papers/Schelling_Seg_Models.pdf.
- Schmandt-Besserat, Denise. (2009). *Tokens and Writing: The Cognitive Development*. Scripta 1(September 2009): 145–54. Obtenido en abril 8, 2016 de http://www.paradise.caltech.edu/ist4/lectures/TokensWriting_the_Cognitive_Development.pdf.
- Science & Society Picture Library. (s.f.). *Egyptian cubit rods, 2600 BC-1st Century AD*. Obtenido en abril 7, 2016 de <http://www.ssplprints.com/image/94051/egyptian>
- Segregation ABM Vector GIS | Results | Models within Paper | Varying the Agents Preferences*. (s.f.). Obtenido en mayo 8, 2016 de <http://www.css.gmu.edu/andrew/projects/segregation/segpref.html>
- SEMARNAT (2015). Primer Informe Bienial de Actualización Ante la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Simoes J.A. (2012) *An Agent-Based/Network Approach to Spatial Epidemics* en Heppenstall

A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 591-610). Dordrecht: Springer.

Smith D.M. (2012) *Simulation Spatial Health Inequalities* en Heppenstall A.J., Crooks A.T., See L.M. & Batty M., *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 499-510). Dordrecht: Springer.

Sokal. A.D. (1994). *Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity*. Obtenido en enero 12, 2015 de http://www.physics.nyu.edu/sokal/transgress_v2_noafterword.pdf

Sokal. A.D. (1996). *A Physicist Experiments With Cultural Studies*. Obtenido en enero 12, 2016 de http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/lingua_franca_v4/lingua_franca_v4.html

Solleiro-Rebolledo, Elizabeth et al. (2006). *Spatial Variability of Environment Change in the Teotihuacan Valley during the Late Quaternary: Paleopedological Inferences*. *Quaternary International* 156-157(SPEC. ISS.): 13–31. Obtenido en abril 8, 2016 de <http://www.nabohome.org/meetings/glthec/materials/mcclung/QISolleiro.pdf>.

Solow, R. M. (1956). *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. Obtenido en diciembre 21, 2015 de http://faculty.smu.edu/tosang/pdf/Solow_1956.pdf

Spiegel Online (s.f.). Obtenido de: <http://cdn1.spiegel.de/images/image-728410-panoV9free-rope.jpg>

Springer, M. (2013, julio 1). *John Searle on Foucault and the Obscurantism in French Philosophy*. Obtenido en enero 16, 2016 de http://www.openculture.com/2013/07/jean_searle_on_foucault_and_the_obscurantism_in_french_philosophy.html

Sun, E.W., Rezania O., Rachev S.T., & Fabozzi F.J. (2011). *Analysis of the Intraday Effects of Economic Releases on the Currency Market*. *Journal of International Money and Finance* 30(4): 692–707. Obtenido abril 27, 2016 de https://statistik.econ.kit.edu/download/Wavelet-final_submitted.pdf

Tennie C., David R. Braun, L.S. Premo, Shannon P. McPherron. (2016.) “*The Island Test for Cumulative Culture in the Paleolithic*.” En *The Nature of Culture: Based on an Interdisciplinary Symposium “The Nature of Culture”*, Tübingen, Germany, ed. Michael Bolus Miriam N. Haidle, Nicholas J. Conard. Springer Netherlands, 121–33. Obtenido en enero 24, 2016 de http://www.eva.mpg.de/documents/Springer/Tennie_Island_Nature-of-culture_2016_2255850.pdf

Telesford, Q.K., et al. (2011) *The Brain as a Complex System : Using Network Science as a Tool for Understanding the Brain*. *Brain Connectivity* 1(4). Obtenido en mayo 2, 2016 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3621511/>.

The Racial Dot Map: One Dot Per Person for the Entire U.S. (s.f.). Obtenido en mayo 9, 2016

de <http://demographics.coopercenter.org/DotMap/index.html>

Thomas F. Strasser, Eleni Panagopoulou, Curtis N. Runnels, Priscilla M. Murray, Nicholas Thompson, Panayiotis Karkanas, Floyd W. McCoy, Karl W. Wegmann. (2010). *Stone Age Seafaring in the Mediterranean: Evidence from the Plakias Region for Lower Palaeolithic and Mesolithic Habitation of Crete*. *Hesperia* 79: 145–90. Obtenido en febrero 7, 2016 de https://www.researchgate.net/publication/234397510_Stone_Age_Seafaring_in_the_Mediterranean_Evidence_from_the_Plakias_Region_for_Lower_Palaeolithic_and_Mesolithic_Habitation_of_Crete

Three.js (s.f.). Obtenido de: <https://threejs.org/>

Truman, H. (1949). *Inaugural Address*. Obtenido en noviembre 15, 2015 de <http://www.bartleby.com/124/pres53.html>

Turney, Chris S M et al. (2008). *Late-Surviving Megafauna in Tasmania, Australia, Implicate Human Involvement in Their Extinction*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(34): 12150–53. Obtenido en febrero 16, 2016 de <http://www.pnas.org/content/early/2008/08/20/0801360105.full.pdf>.

UN Millennium Project. (2005). *Investing in development: A practical plan to achieve the millennium development goals*. (1 ed.). Nueva York, EEUU.: Earthscan. Obtenido en noviembre 17, 2015 de <http://www.unmillenniumproject.org/documents/MainReportComplete-lowres.pdf>

Varian, H. R. (2014). *Big Data: New Tricks for Econometrics*. Obtenido de: <http://people.ischool.berkeley.edu/~hal/Papers/2013/ml.pdf>

Villoro, L. (1992). *El pensamiento moderno: Filosofía del Renacimiento*. Fondo de Cultura Económica.

Volkswagen Light Duty Diesel Vehicle Violations for Model Years 2009-2016. (2016, enero 4). Obtenido en enero 15, 2016 de <https://www.epa.gov/vw>

Walras, L. (1874). *Éléments d'économie politique pure*. Obtenido en enero 7, 2016 de <https://archive.org/details/lmentsdconomiep00walrgoog>.

Khronos Group (2017). *OpenGL ES 2.0 for the Web*. Obtenido de: <https://www.khronos.org/webgl/>

Williams, M. et al. (2015). *The Anthropocene Biosphere*. *The Anthropocene Review* 2(3): 196–219. Obtenido en abril 2, 2016 de <http://anr.sagepub.com/lookup/doi/10.1177/2053019615591020>.

Wittgenstein, L. (1922). *Tractatus Logico-Philosophicus*.

Wrangham, R. (2009). *Catching Fire: How Cooking Made Us Human* (Versión electrónica).

- Wroe, S. & Field J. (2006). *A Review of the Evidence for a Human Role in the Extinction of Australian Megafauna and an Alternative Interpretation*. *Quaternary Science Reviews* 25(21-22): 2692–2703. Obtenido en febrero 22, 2016 de https://www.researchgate.net/publication/222694188_A_review_of_evidence_for_a_human_role_in_the_extinction_of_Australian_megafauna_and_an_alternative_interpretation.
- Young, Richard W. (2003). “*Evolution of the Human Hand*.” *Journal of Anatomy* 202(1): 165–74. Obtenido en febrero 1, 2015 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1571064/>.
- Yu, Chong Ho. (2003) *Misconceived Relationships between Logical Positivism and Quantitative Research*. *Research Method Forum*: 1–39. Obtenido en enero 5, 2015 de <http://www.creative-wisdom.com/computer/sas/positivism.pdf>.
- Zemelman, H. (2004). *Historia y Autonomía en el sujeto. En 8° Encuentro Nacional y Regional de Investigación Educativa. Encuentro llevado a cabo en la Universidad Pedagógica Nacional en Pachuca Hidalgo*. Obtenido en enero 2, 2016 de <https://www.youtube.com/watch?v=tIrKmpZC5j4>
- Zemelman, H. (s.f.) *Pensar Teórico y pensar epistémico: Los retos de las ciencias sociales latinoamericanas*. Obtenido en octubre 20, 2015 de <http://www.ipecal.edu.mx/Biblioteca/Documentos/Documento7.pdf>.
- Zilhão, João. (2000). *Europe’s First Farmers From the Mesolithic to the Neolithic in the Iberian Peninsula*. Obtenido en abril 4, de <http://www.bristol.ac.uk/archanth/staff/zilhao/price2000.pdf>.
- Zoellick, R. B. (2010). *Democratizing development economics*. Universidad de Georgetown , Washington, EEUU. Obtenido en noviembre 15, 2015 de <http://rodrick.typepad.com/09%2029%2010%20Zoellick%20speech%20at%20Georgetown.pdf>