

Javier Aracil

*Semiosfera 5 (1996)*

## La teoría de sistemas como lenguaje

### *1. Modelos de simulación informática del comportamiento.*

Es frecuente que la relación entre las Humanidades y las Técnicas se limite a explotar las enormes e insólitas posibilidades que las modernas Técnicas aportan a aquéllas: desde la capacidad de elaborar, procesar, reproducir y mezclar las palabras, los sonidos y las imágenes consiguiéndose efectos deslumbrantes, hasta aspectos colaterales de carácter auxiliar, como puede ser la datación de restos del pasado. En todos esos casos se trata de una relación relativamente superficial, además de ser de carácter unidireccional. Hay otras formas de relación más profundas en las que se produce la emergencia de nuevos

ámbitos de reflexión y de aproximación a la realidad. Es lo que sucede con la teoría de sistemas, con fuertes raíces en el mundo de la técnica, pero que al constituirse en un repertorio de lenguajes incide, de alguna forma, en el dominio tenido para sí por las Humanidades.

La técnica se ha apoyado tradicionalmente en la ciencia, de la que ha extraído un conocimiento objetivo (contrastado, intersubjetivo y altamente elaborado) sobre el mundo exterior, que le ha permitido fundamentar sobre una base sólida las reglas de acción para resolver determinados problemas que, en el fondo, constituyen las técnicas. Aunque en el Renacimiento Ciencia, Arte, Humanidades y Técnicas van de la mano, en el mundo moderno se ha producido un creciente distanciamiento entre ellas. La Técnica, excesivamente servil con la Ciencia, ha parecido querer distanciarse de las Humanidades. Sin embargo, algunas reflexiones propias de estas últimas aportan una considerable clarificación a determinadas técnicas. Es lo que sucede con las de modelado y simulación informática de sistemas complejos. Algunos desarrollos relacionados con el estudio de los lenguajes tienen particular relevancia para la fundamentación de estas técnicas.

Analizaremos algunas de las posibilidades, problemas y las limitaciones que muestra la re-

presentación de sistemas concretos mediante modelos informáticos de simulación<sup>1</sup>. Este es un campo en el que el desarrollo de la técnica va considerablemente por delante de la comprensión teórica del hecho. Carecemos de un aparato teórico que permita entender qué es lo que hacemos cuando construimos un modelo de simulación informática de algún aspecto de la realidad; es decir, una representación formal que programada en un computador nos permita obtener en él una cierta réplica del comportamiento de aquél.

La Historia es rica en ejemplos en los que la Técnica antecede a la Ciencia. Se hacen cosas antes de disponer de un cuerpo bien articulado de conocimientos respecto a lo que se hace; antes de tener una ciencia de la que se desprenda la justificación de ese modo de actuar. Esto ha sucedido en campos tan variados como la metalurgia y la construcción de puentes. La máquina de vapor es anterior a la termodinámica (en realidad, ésta surge de aquélla). Este tipo de situaciones dan lugar a cuestiones muy sugestivas por lo que respecta a la fundamentación de nuestras actuaciones, ya que se trata de comprender algo que ya somos capaces de hacer.

---

<sup>1</sup> H. Simon: *The Sciences of the Artificial*; Cambridge: M.I.T., 1981.

Hoy, cuando ya disponemos de una ciencia aceptable que aporte un substrato a las tecnologías convencionales, nos encontramos con ese mismo tipo de situaciones en el ámbito de las que se conocen como "Tecnologías de la información". Éstas surgen a mediados de este siglo, y vienen a alterar la aparentemente cómoda situación a la que había llegado la relación de la técnica con la ciencia, especialmente con la física, en la que parecía que toda descripción de la realidad iba a poder hacerse con conceptos que, en última instancia, se redujesen a materia y energía.

La aparición del concepto de información, y de todo el séquito de tecnologías que, de una forma u otra, están basadas en su procesamiento, ha producido una considerable convulsión, en la que aún estamos inmersos. Son muchos los campos en los que se está produciendo ese impacto. A lo largo de estas líneas vamos a tratar uno de ellos y analizaremos su efecto sobre determinados modos de representarnos la realidad, especialmente de aquellos aspectos en los que la presencia de lo que denominamos sistemas es dominante. En particular, de aquellas cuestiones relacionadas con la representación de su comportamiento. Y para esta representación se requieren lenguajes de modelado adecuados.

El ser humano ha demostrado una singular aptitud para organizar intelectivamente su percepción de la realidad (lo que le ha suministrado una excepcional capacidad adaptativa, que le ha llevado, en la práctica, a desbordar a las otras especies en el dominio de la naturaleza). Para ello se ha dotado de lenguajes que le han suministrado las formas con las que organizar esa percepción y, lo que es más, hacer inferencias con relación a lo no percibido aún, pero que forma parte de su experiencia potencial. Entre estos lenguajes, el ordinario ha sido considerado tradicionalmente el más importante. Hasta tal punto que se asumía implícitamente la hipótesis de que los seres humanos estábamos dotados de una cierta facultad intrínseca, según la cual nuestro aparato cognoscitivo poseería la capacidad de emular exhaustivamente la realidad mediante ese lenguaje. Esta primacía del lenguaje ordinario es cuestionada cuando Galileo pretende que sea otro lenguaje, el matemático, el que se destine a llevar a cabo esa misma misión, al ser éste en el que, según él, está escrita la naturaleza. Hoy sabemos que esa pretensión es infundada, que la naturaleza no está escrita en ningún lenguaje, sino que somos nosotros los que a lo largo de la historia hemos concebido lenguajes que nos han permitido organizar nuestros datos. Hemos aprendido a reconocer que nuestros lenguajes son construcciones nuestras y que su adecuación a la realidad es un venturoso

misterio con el que tenemos que coexistir, aunque no seamos capaces de entenderlo.

A la constatación del carácter de construcción de nuestros lenguajes han contribuido, de forma sensible, determinadas aplicaciones de las tecnologías de la información. En concreto, las relacionadas con la construcción de modelos informáticos para la simulación del comportamiento de sistemas. Estos modelos no son sino descripciones formalizadas de los sistemas, elaboradas con lenguajes de modelado adecuados, que poseen la notable capacidad de generar réplicas convincentes de su comportamiento.

Por otra parte, los lenguajes de modelado no son receptores pasivos, sino organizadores activos de nuestra percepción de la realidad. En consecuencia, no son neutrales con relación a la descripción. Este carácter de los lenguajes es interesante en muchos aspectos, pero aquí nos interesa particularmente uno: al no surgir de las propias cosas el lenguaje no tiene por qué ser único. Se desarrollan de forma parcial, al calor de problemas concretos, sin pretender ninguna forma de exhaustividad. Todo ello nos lleva a hacer inevitable una cierta forma de pluralismo epistemológico<sup>2</sup>. Pero,

---

<sup>2</sup> Nelson Goodman: *Ways of Worldmaking*; Hackett, 1978 (versión española *Maneras de hacer mundos*; Madrid: Visor, 1990).

al mismo tiempo, nos sitúa frente el problema de la justificación de esas descripciones, que tiene una importancia considerable y estamos lejos de poder estimarlo aceptablemente resuelto. Las soluciones que se han propuesto pueden agruparse en torno a dos puntos de vista:

Por una parte, está el de los que pretenden que la validez de un modelo se fundamenta en el hecho de que pueda considerarse legítimamente como una copia de la realidad. Es decir, que esté basado en un conocimiento exhaustivo de las interacciones en el seno del sistema, lo que permitiría decir que el modelo es isomorfo al sistema real. Este concepto de copia, como es sabido, está fuertemente cuestionado en la actualidad por algunas escuelas de filosofía de la ciencia, ya que presupone que la realidad posee una estructura unívoca, que sería precisamente la que debería de reproducir el modelo<sup>3</sup>.

Por otra parte, otra forma más suave de justificar el modelo se basa simplemente en admitirlo en la medida en que se comporte como aquello que modela. No se trata tanto de que reproduzca su "realidad" profunda, sino simplemente la per-

---

<sup>3</sup> R. Rorty: *Philosophy and the Mirror of Nature*; Princeton Press University, 1979 (versión española *La filosofía y el espejo de la naturaleza*; Madrid: Cátedra, 1989).

cepción que tengamos de ese aspecto de nuestra experiencia. Pasamos de una situación en la que parece que la justificación de la descripción está basada en que en ella se integra el conocimiento científico, que describe las cosas *como son*, a otra en que esa justificación reside en la bondad de las actuaciones que derivan de su utilización, por su adecuación a los fines perseguidos.

Es claro que en el segundo caso adquiere una notable relevancia el medio en el que se organiza esa percepción; se emplean las posibilidades descriptivas del lenguaje usado en su elaboración para estructurar ese aspecto de la realidad (pero sin perder de vista que la estructura viene impuesta por nuestro esquema y pertenece a la realidad a través de este último). Se trata de construir un objeto, el modelo, cuya justificación se base en su capacidad de emular, con su comportamiento, ciertos aspectos de la realidad. Esta capacidad de emulación está, de alguna manera, condicionada por el lenguaje empleado para su construcción que, por ello, delimita sus posibilidades. Es evidente que en este caso se tiene que abandonar toda pretensión de exhaustividad<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup>M. Bunge: *Teoría y realidad*; Barcelona: Ariel, 1972. Mario Bunge ha propuesto la distinción entre modelos teóricos y fenomenológicos. Los primeros reponderían a un conocimiento profundo de las relaciones entre los elementos del sistema, mientras que los segundos se limitarían a una relación superficial de las variedades involucradas.



Cuando se alude a la falta de un cuerpo teórico que aporte una fundamentación a las actividades del modelista, se suele invocar que esa labor debería corresponder a la teoría de sistemas. Sin embargo, esa teoría se encuentra en una fase incipiente de desarrollo. En todo caso, el gran reto al que debería responder la teoría de sistemas es el de si es posible decir algo sobre sistemas que no sea trivial, por su generalidad, o que no esté exclusivamente ligado a la clase de sistemas que se esté estudiando. El reconocimiento de que determinadas estructuras subyacentes a los sistemas permiten dar cuenta de sus modos de comportamiento constituye una importante respuesta a este reto. En este sentido cabe decir que disponemos ya de un corto, pero importante, catálogo de estructuras que permiten dar cuenta de ciertos modos de comportamiento. Así, la estructura de realimentación permite explicar los comportamientos autorregulativos, en el caso de ser negativa, o los autocatalíticos o explosivos, si es positiva. La coordinación de dos bucles de realimentación negativa permite construir mecanismos adaptativos. Mediante la estructura de reacción-difusión se puede explicar la autoorgani-

---

Según este autor, sólo los primeros serían merecedores de consideración, mientras que los segundos serían solamente instrumentos circunstanciales con escaso valor epistemológico. A la luz de lo que se ha visto en este artículo se comprende que esta dicotomía resulte inaceptable.

zación y la morfogénesis. Estas estructuras, así como las jerarquizadas, que permiten descomponer un sistema complejo en subsistemas coordinados, se analizan en obras especializadas.

Desde el punto de vista de las matemáticas el concepto de sistema dinámico surge de una especialización de la teoría de las ecuaciones diferenciales. Sin embargo, este marco formal se vio pronto ampliado, a su vez, al desarrollarse distintas variantes que ampliaban considerablemente las posibilidades de formalización. Así, por ejemplo, se discretizó el tiempo y se tuvieron los sistemas dinámicos en tiempo discreto. También se discretizó el espacio de estados, con lo que se desarrolló la teoría de autómatas o de sistemas de estados discretos. Las transiciones entre estados, implícitas en las reglas que definen el sistema dinámico, pasaron de ser deterministas a estocásticas, y en tiempos más recientes borrosas. Todo ello ha dado lugar a un amplio repertorio de formalizaciones para describir los sistemas que dan lugar a lo que se conoce como teoría matemática de sistemas. Este repertorio suministra lenguajes de modelación con los que obtener descripciones formalizadas de los diferentes sistemas que pueblan nuestro entorno. Estos lenguajes suelen llevar aparejados entornos informáticos con los que explotar las correspondientes descripciones. Todo ello a dado lugar a lo que se

conocen como *tecnologías de modelado y simulación de sistemas*.

Estas tecnologías se han aplicado no sólo a las máquinas sino también a sistemas de otra naturaleza, como los sociales y biológicos. En este último orden de cosas cabe mencionar su aportación con vistas a la adopción de una perspectiva global con relación a los grandes problemas de nuestro tiempo. Si se quiere garantizar la supervivencia de la humanidad hay que plantearse los grandes problemas que se le presentan y que son: la superpoblación, la degradación del medio ambiente y el agotamiento de los recursos no renovables. Frente a este tipo de problemas tenemos que adoptar soluciones globales. El especialista posee una visión monocular o sectorial, y estos problemas poseen numerosos aspectos. Si alguna lección hemos extraído de los modelos que sirvieron de soporte al primer informe al Club de Roma, es que el tratamiento parcial de estos problemas no conduce a ninguna solución<sup>5</sup>. Los problemas globales no tienen más que soluciones globales. La teoría de sistemas aporta instrumentos que ayudan a abordarlos. En todo caso, los modelos se están empleando para representar el comportamiento de sistemas en un amplio espec-

---

<sup>5</sup> D. Meadows et alia: *Más allá de los límites del crecimiento*; Madrid: Aguilar-EL PAÍS, 1992.

tro de campos, desde los físicos y químicos, hasta los sociales, pasando por los biológicos (en especial los ecosistemas). En los modelos de sistemas físicos y químicos, aparentemente no hay problemas especiales de modelación ya que se conocen bien las leyes básicas de interacción en el seno del sistema. Por ello la descripción cuantitativa del sistema puede hacerse con considerable precisión, lo que permite la justificación *a priori* de los modelos, que gozan de gran aceptación.

No sucede lo mismo cuando se consideran sistemas en los que se carece de leyes básicas que regulen las interacciones en su seno, como sucede en los sistemas sociales y, en general, en los que están involucrados seres vivos. En este caso pudiera caerse en la tentación de rechazar estos modelos alegando que se carece de elementos que justifiquen su pretensión de representar la realidad. Ello sería un error, ya que estos modelos consiguen representar adecuadamente algunos aspectos de la realidad lo que, en último extremo, se justifica por el uso práctico que se hace de ellos.

## 2. Sobre los usos de los modelos.

Un modelo de simulación informática del comportamiento de un sistema concreto se construye como un instrumento que ayude a resolver

un cierto problema. Sin embargo la diferente naturaleza de la información a partir de la cual se ha construido hace que los usos de un modelo sean variados. En función de los objetivos que con ellos se persigan, pueden agruparse en tres grandes grupos:

a) Los que pretenden formular *predicciones* precisas. Para ello se requiere que todos los elementos del sistema sean deterministas y bien conocidos (aunque ello no sea condición suficiente).

b) Aquellos que ayudan a elaborar *previsiones* de las diferentes evoluciones posibles, teniendo en cuenta las contingencias que, junto con los elementos deterministas, son susceptibles de influir en el curso futuro de los acontecimientos.

c) Y, por último, los que permiten analizar las diferentes fuerzas motrices que pueden afectar al devenir. Los modelos no tratan de anticipar el porvenir, sino de suministrar elementos para una reflexión disciplinada, realista e imaginativa sobre los posibles modos de desenvolverse el sistema.

El primero de los objetivos es el propio de la ciencia, en el sentido más clásico del término, y permite una actuación racional en sentido estricto. Sabemos que en numerosos sistemas físicos podemos encontrar condiciones que permiten

realizar predicciones aceptables. Sin embargo, aún en estos sistemas, hemos visto también que pueden darse situaciones que imposibilitan la predicción (por ejemplo, cuando hace su aparición el caos en sistemas dinámicos)<sup>6</sup>.

La complejidad de esas situaciones puede tener distintos orígenes; pero, se tiene siempre que se trata de sistemas en los que están involucrados agentes humanos, los cuales modificarán su comportamiento de acuerdo con las previsiones que hagan de la evolución del sistema, por lo que el propio comportamiento quedará afectado y caeremos en una recurrencia sin fin. En los sistemas sociales hay una componente fundamental en el problema de la predicción: el propio agente está involucrado, con sus decisiones, en el proceso que trata de prever. La comodidad de una expresión matemática que nos diga como son las cosas, y nos exima de la responsabilidad de decidir, es algo a lo que ya no podemos aspirar en múltiples campos de nuestra experiencia. No podemos dejar al modelo la responsabilidad de decidir. Cuando formamos parte del propio sistema no podemos aspirar a distanciarnos tanto de él, como para obtener una representación completamente "objetiva".

---

<sup>6</sup> E. Mosekilde, J. Aracil y P. Allen: "Instabilities and chaos in nonlinear dynamic systems"; en *System Dynamics Review* 4 (1), 1995 (págs. 14-55).

El agente humano forma parte del proceso de realimentación y no permanece ajeno a él. Por tanto, en las situaciones a las que de una forma genérica nos podemos referir como complejas, el futuro no puede predecirse y, aunque lo fuera, no podemos confiar en la predicción.

Sin embargo, es patente que existe una demanda insaciable de predicciones. Nuestras acciones, para que estén sólidamente fundamentadas, deben basarse en predicciones que las justifiquen. Para que un modelo produzca predicciones fiables sobre el comportamiento de un sistema es necesario que el modelo sea una representación precisa y completa de la realidad. Sabemos que no podemos aspirar a ello. Aparte de razones de tipo práctico (la magnitud del propio empeño) existen otras teóricas; la observación de la realidad está siempre influida por el propio observador. Pero, si el futuro es impredecible, ¿para qué construir un modelo de una situación compleja? La respuesta a esta cuestión pasa por la consideración de que las trayectorias generadas por un modelo de simulación informática permiten explorar todos los comportamientos posibles, dentro del ámbito en el que se desenvuelve la imprecisión del conocimiento que tenemos de una situación concreta. A partir de esas simulaciones se pueden elaborar las previsiones a las que se alude en el segundo de los tipos de usos de modelos. Además,

un modelo de simulación informática permite generar comportamientos, y al hacerlo nos permite interactuar con ellas, modificar las condiciones hipotéticas a partir de las cuales se generan, y con ello podemos hacer algo así como jugar con nuestro conocimiento del sistema que estamos estudiando<sup>7</sup>. Las simulaciones suministran evoluciones consistentes, pero no predicciones. De este modo, con el modelo, aunque no podamos predecir, al menos podemos aprender respecto a los modos de comportamiento del sistema modelado. Este es el tercero de los usos apuntados.

Este último tipo de utilización de los modelos está ampliamente implantado en los medios de gestión empresarial y aporta un elemento de considerable interés para la ayuda a la toma de decisiones, especialmente para problemas de planificación y adopción de decisiones estratégicas<sup>8</sup>.

### 3. *Pluralismo y teoría de sistemas*

Según lo que acabamos de recordar, la teoría de sistemas surge como la disciplina que se ocupa del estudio sistemático de los objetos forma-

---

<sup>7</sup> S. Papert: *Mindstorms*; The Harvester Press, 1985.

<sup>8</sup> J. Pérez Ríos: *Dirección estratégica y pensamiento sistémico*; Universidad de Valladolid, 1995.



les de los que se vale el sistemista para describir y representar los sistemas concretos. Utiliza para ello los útiles que le aporta la teoría matemática de sistemas dinámicos, que constituye un repertorio de formalizaciones para representar los sistemas empíricos del mundo exterior, de manera análoga a como en geometría se tiene la geometría euclídea, la esférica, o la de Riemann, entre otras, de modo que ante cada problema concreto de representación geométrica se recurre a una de ellas, la más adecuada al caso, sin que la realidad posea, por sí misma, una estructura geométrica determinada. Del mismo modo, la teoría de sistemas suministra un catálogo de lenguajes de modelación con los que describir determinados procesos de la realidad. Empleamos un instrumento construido por nosotros, el sistema dinámico, para resolver problemas en ámbitos variados de nuestro entorno. Se emplean sus posibilidades como un lenguaje, entre otros, para describir ciertos aspectos del mundo exterior, renunciando a la pretensión de que exista algo así como el lenguaje en el que está escrito.

Se abandona con ello el ideal platónico de que todas las preguntas genuinas deben tener una, y solo una, respuesta verdadera<sup>9</sup>, lo que en nuestro caso llevaría a que todas las situaciones proble-

---

<sup>9</sup>I. Berlin: *El fuste torcido de la humanidad*; Barcelona: Península, 1992.

máticas tienen un, y sólo un, modelo verdadero (el quimérico modelo base de Zeigler)<sup>10</sup>. Por el contrario, surge de manera natural una invitación al pluralismo metodológico, según el cual de un mismo sistema hay diferentes descripciones (modelos), no necesariamente reducibles a una sola, y todas las cuales pretenden legítimamente estar justificadas. Corresponde a la indeclinable responsabilidad del usuario el decidir cual se ajusta mejor al problema que tiene entre manos.

En la figura se representa el órgano de control de un sistema dotado de control automático (diagrama que también se puede asociar al proceso de toma de decisiones). En ella se muestra cómo el controlador procesa la información que le suministra la planta o proceso sobre la que está actuando, mediante el modelo que el diseñador del sistema emplea para representar ese aspecto de la realidad sobre el que actúa. Esa captación de la realidad se hace mediante los recursos, en cierto sentido limitados, que aporta ese esquema conceptual. Sin embargo, esa limitación no obsta para que la actuación pueda ser eficiente, como de hecho sucede siempre que el sistema de control está bien diseñado (de no ser así la eficiencia del proceso de control exigiría que el modelo que emplease el agente estuviese dotado de

---

<sup>10</sup> B. Zeigler: *Theory of Modelling and Simulation*; Wiley, 1976.

una afinidad con la naturaleza intrínseca del proceso controlado, lo que según se ha visto no parece razonable asumir que suceda). Por el contrario, todo ocurre como si se requiriese únicamente una correcta adecuación entre medios y fines de la misma naturaleza de la que poseen algunos animales superiores.

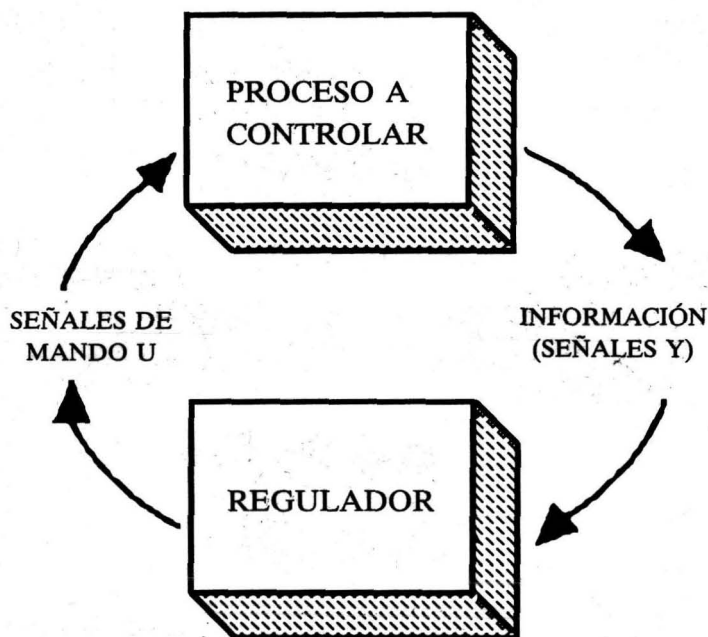


Figura 1: Sistema de control automático.

La diferencia que existe entre nosotros y esos animales no es que éstos se ajusten meramente a su entorno, mientras que nosotros lo conocemos,

sino que nosotros nos acomodamos a la realidad mejor que ellos gracias a las descripciones más potentes de las que nos hemos dotado, lo que nos permite ajustarnos a ella de modo que tengamos más variedad y libertad.

Para terminar, podemos decir que los sistematistas y los ingenieros de control al resolver los problemas propios de su especialidad han suministrado una ilustración concreta de un hecho que tiene indudable actualidad y que es el de que ningún esquema conceptual, lenguaje o visión del mundo posee la facultad de agotar la realidad y que, por tanto, debemos aprender a vivir en un mundo en el que el pluralismo (aunque no el relativismo) sea la nota dominante. El peligro de relativismo (adscribir el concepto de "realidad" a la cultura) desaparece en los ingenios dotados de control automático. Si funcionan bien, su descripción del aspecto de la realidad que se controla queda naturalmente ratificada. Ese pluralismo ya está plenamente asumido en otros ámbitos del conocimiento, pero es visto todavía con reticencia por los que practican las llamadas ciencias duras. Sin embargo, los sistematistas, aún empleando instrumentos propios de esas ciencias, y por necesidades propias de nuestro modo de actividad, nos hemos visto forzados a admitirlo. A fines de este siglo sabemos que ninguna forma de descripción puede ocupar un lugar privilegiado, y

que debemos abrazar el mandato de la Ilustración de atrevernos a ser adultos, en un mundo sin referencias precisas, en donde la medida del hombre sea el valor con el que asuma su propia libertad, ejercitando sus facultades, y muy en especial la razón, sin el apoyo de espejismos y referencias exteriores, pero evitando, al mismo tiempo, sufrir el deslumbramiento de nuestros propios productos intelectuales. Sólo de este modo podremos avanzar hacia un mejor conocimiento del mundo que nos rodea y de nosotros mismos, lo que constituye el único camino para el afianzamiento y desarrollo de nuestra libertad.

Universidad de Sevilla

