

*Sistemas por doquier*

Si alguien se pusiera a realizar las nociones y tiiuletillss de moda hoy por hoy, en la lists apareceña «sistemas» entre los primcms lugares. El concepto ha invadido todos los campos de la ciencia y penctrado on el pensamiento y el habla **populares** y m los medios decomúnicación de masas. El razonamiento en términos ‹k sistemas desempeila un papel dominante en muy variados campos, desde lai empresas industriales y los armamentos hasta **tomas** reservados a le ciencia pura. Sc ic dedican innumerables pubficacioaes, coafcrcncias, sii posios y cursos. En afios recientes han aparecido profesio^> 7 ocupaciones, deacoaocidAs hasta trate nada, que llevan nombres eomd proyecto de sistemas, análisis de sistemas, ingeniería de siste-

mas y asi por el estilo. Constituyen el meollo de una técnologla y una tecnocracia auevas; quienes las ejercen son los cnnevos utopistas» de

clásica, **euyai** ideas no salían de entre les cubiertas de los libre es- tán creando un mundo nuevo, feliz o no.

Las reioes de este proceso son complejas. Por un lsdo cstt el tránsito desde la ingenieria energética —la liberación de grandes cantidades de energia, asi eii las máquinas de vapor o eléctricas— - hasts la inganieña de control, qim dirige pr‹x:esos mediante artefac- tos de baja energia y quc ha conducido a lai computadoras y la autoaiación. Han aparmido máquinas quc se autocontrolan, dcl humilde termostato doméstico a los proyectiles autoguiados de la Segundo Guewa Mundial, y de ahí a los proyectiles iomeosaiuvnte

perfcccionados de hoy. La te iologla ha acabado pensando no ya en términos de máquinas noltai sino de «sistemas». U•a esáquina *de ayer n:n* automóvil o un receptor de radio caían dentro de la competencia del ingeniero adiestrado en la respectiva especialidad. Pero cuando se trata de proymtiles o de vehiculos espaciales, hay quo armarios us4ndo componentes gil }foceden de tecDOlogIai heterogtáeas: mmdnica, electrónica, quíatica, etc.; empiezan a inter- 'venir relaciones entre hombre má nina salen al innumera- bles problemas financieros, e:onóinicos, mialei y políticos. O bien el tráfico aéreo, o incluso automóvil, ao es ello cosa del núinerf› de vuhlculos en funcionamiento aíno que son sistemas que bay que planear o disponer. Asi vienTn surgiendo innumerables proble- mas en la producción, el comercio y los armamentos

Se hizo necesario, pum, un «mfoque de sist . Oado un determinado objetivo, encontrar caminos o medios para alcanmrlo requiere que el es ialista en sistemas (o el equipo de especialistas) considere solo:ioaes posibles y etija las que prometen optimimción, con aáiima eficiencia y mlnimo costo en una red de intersccionm tremendamente compleja. **Esto** requim técnicas complicadas y com- putadoras ¡mira resolver problemas que van muchisimo más nllá de los akances de un matemático. Tauro el lordrvore (aquincella» se hu dicho en eipnñol) do Ins cp iputadorei, la automecíón y la ciberneción. como el so/there de ln ciencia de los aistemaa, representen una nuevo tecnologia qu ba sido liamsdi Segundn Revolución IodustriaJ y sólo lleva unas décadas dezeovolvi

Este situación oo se ka liaiitado al cozaplejo iadustcial-zntlitar. Lot pplíticos suelen pedir que se aplique el ‹•enfoque de visieaas» a problemas apreciaría, talei como la contaminnci6n del •in y el agua, le congestión de trúf la plaga urbana, iá delincuencia juvenil y cl crimen **organizado, ls** planeación de ciudades (Wolfe, 1967), etc., y hablan de ettc cnucvo concepto revolucionario» (Car- ter, 1966; Boffey, 1967). Un primer ministro canadiense (Manning, 1967) inserta el enfoque de sistemas en an plataforma política:

...existe uns intermlación entre todo 1s elementos y constituyen• tes de la sociedeA Lm factorm esenciales et losproblcmes, puntos, políticas y programas públicos debm ser siempre considerados y evaluados coito **componentes interdepaodicates** de **nn sisteraa**

Seracjaate evolución no pasarla de ser otra de las numerosas facetas **de cambio en** nuestra **sociedad** teczzológica **cootemporéoea,**

si ao fuez8 por ua factor sigaificativo fécú de ser pasado por alto en las técnicas tan sutiles y fonosamente mpecializadas de la ciencia de le computación, la ingeniería de sistemas y campos afines. No eólo está la tendencia, en la tmnologia, a hacer cosas mayores y mejores (o, ai no, m$s provechoaas, destructivas, o todo a la vez), sino que boy un cambio en las categorías básicas del pensamiénto, del cucl las complejidade de la tmnologla moderna no pasan de Por una manifestación, acaso ni la más. importante. De uno u otro modo estamos forzados a vúmmles con complejida- des, con •rtoia1idadee» o «sistemas», en todos los campos del confi- miento. Estu implica una fundamental reorientación del pensamiento oientlfico.

No señs factible tratar de resumir la repemusión de lot «siste• nas», lo cunl, por lo demás, dejarla fuera las coniidcreciones de este libro. Tendrán que baatar unos cuantos ejemplos, elegidos más o menor wtiitrarianiente, a fin de boaquejar la naturaleza del problema y la consiguiente reorientación. El tutor dispencart el tmpie egmúntrico en lai citas, ya que el propósito del libro ce star el punto de vists del autor y no resedar el campo con neutralidad.



—o quizás un nuevo tipo de problema—, tal vez más widentm para ellego en el número indefinido—van centTnarm-=- de particulas elementales, de la que la ficica al presente puede der rezón. **Se*yñn na*** expert*o* dmtac d*o* (II-Shalit, 1966), el ulterior progreso de la física nuclear «requiere luche labor experimental, ed como cl **surgiaúeato de zaés zoétodos** poderosos para zoaaqjar **sistemas** dc pazttculas auaicroses, jmo ao iafiaitas». A. Szmt-Gyôrgyi (19ó4), el gran fuiólogo, cnpres6 con huaior in mia a ambición:

**[Cuaado aa ssmguó al** Ia•ütutc for Advaaoed **SMy** of Princeton] lo hice con la esperanza de que codctndoine con aquellos grandes ílsims aiómicos y matemdtico« aprendcrla algo acerca de las cosas vivas Pero en cuanto renl£ ue co eua uier sistema vivo hay mái de dos electronm, los fíñcoi ao quisieron olr niAs Con tedai an computadoras, no podlan decir qid haría el tercer electrón. Lo notable et que hare lo eche enactamen-

los sabios de Princeton, por lo cual tiene que ser algo muy sencillo.

Y &rnal (1957) formuló de este modo el problema aún no resuelto:

Nadie que conozca las dificultadcs de ahora se figura que la crisis de la física seguramente se resuelva metccd a algñn simple truco o modificación de las teorías existentes. Es preciso algo radical, que habrá de llegar mucho más allá de la física. Está siendo fojada una nueva visión del mundo, pero senn precisas mucha cxperiencia y mucha controversia antes de que adquiera forma definitiva. Tendrá que ser coherente, que incluir y esclarmer el nuevo conocimiento de las partículas fundamenta- les y sus complejos campos, que resolver la paradoja de la onda y la panlcula, deberá hacer igualmente inteligibles el mundo interior del átomo y los vastos espacios dcl universo. Deberá tencr uns dimensión distinta de todas las visiones del mundo previas, e incluir una explicación del desarrollo y cl origcn de cosas nuevas. Con ello se acoplará naturalmente a las tenden- cias conrergentcs de las ciencias biológicas y sociales, donde una pauta regular se trenza con su historia evolutiva.

El triunfo de la biología molecular en años recientes, el «descifra- micnto» del código (o clave) genético, y los consiguientes logros en genérica, evolmión, medicina, fisiología celular y muchos otros campos, es yq lugar comón. Pero a **Usar** del discernimiento ahonda- do que alcapza la biología ‹molecular› —o acaso en virtud de éW, es manifiesta la necesidad de una biología «organísmica», según el prcsentc autor lo llevaba sosteniendo unos **40 ahos. La** bio1ogi:i no sólo tiene que ocuparse del nivel fisicoquímim o molmu- lar, sino de los niveles superiores de organización viva taaibitn. Tal como discutiremos más adelante (p. 10), esta exigencia s¢ ba planteado con renovado vigor, en vista de reciente hechos y conoci- mientos, pero difícilmente se habrá agregado .un argumento que no hubiera sido discutido mitch (Con &rtalanffy, I928a, 1932;

Por otro lado, en psicología la concepción básica solía ser el

«modelo robot». Había que explicar la conducta con el esquema mecanicista estimulo-respuesta **(E-R); cl** condicionamiento, acorde con la pauta del experimento con animales, aparecía como funda-

**IMTRODUCCflN** 5

mento de la conducta humana: tenia que reemplazarse el «significa- do» por la respuesta condicionada, que negarse la especifici‹iad del comportamiento humano, etc. La psicología de la *Gestalt* fue la primera en cnfrentarse al esquema mecanicista hace cosa de medio siglo. Más recientemente se han visto muchos intentos encami- nados a una nimagen dc1 hombre» más satisfactoria, y el concepto de sisttma va ganando importancia (cap. vui); Piaget, por tjemR°.

«vinculó expresamente sus conceptos a la teoria general de lós

sistemas de &rtalanffy» (Hahn, 1967).

Quizás aun más que la psicología, la psiquiatña ha adoptado el punto de vista de los sistemas (p. e}. Menninger, l9ó3; von Bertalanffy, 1966; Grinker, 1967; Gray *et al., en* prensa). Citemos a Grinker:

De las teorías llamadas globales, la quc primero anunció y definió &rta1anffy en 1947 con el nombre de «teoña gcneral de los sistemas» ha prendido. Oesdt entonces ha aftnado, modi-

ficado y aplicado sus conceptos, establecido una sociedad dedica- da a la teoría general de los sistemas y publicado un *General Systems Yearbook.* Muchos científicos sociales pe*ro* sólo un ptiñado de psiquiatras estudiaban, entendían o aplicaban la tcoría de los sistemas. De pronto, bajo la guía del doctor William Gray, de Boston, se alcanzó un umbral, la reunión anual 122 de la American Psychiatric Association dedicó dos sesiones, en 1966, a la discusión de cita teoría, y se dispuso que en adelantc hubiera reuniones regulares de psiquiatras para desarro- llar esta ‹deoria unificada dç1 comportamiento humano». De existir la tercera revolución (después de la psicoanalitica y la conductista), reside en el descnvolvimiento de una teoría general

El informe de una reciente reunión (American Psychiatric Asso- ciation, 1967) pinta un vivido cuadro:

Cuando una sala para 1500 personas está atiborrada al punto de que hay cientos en pie durante una sesión matutina cntera, el tema debe de interesar de veras al auditorio. Tal fue la situación en el simposio sobre el uso dc una tcoria general de los sistemas en psiquiatría, cclcbrado dentro de la reunión de la American Psychiatric Association en Detroit. (Damudc, 1967.)



**la czteodida coofusióa y les coaaadiccioa••** de **las** teorías **sociológi- cas coateoiporóacas (Sorokta, 1928, tS6ó} cttterge una cooctusi6a** e **quin:** qun **los fen6meaoi socn1es** deben **ser** cónaidemdos en ttrmi- **aos** de **csistatoa8» —por** diflcü **y boy ca día fluctuaatc que sea la dcFioicióo de eattdades** socJ¢ uIturales.

Nay un **jmaorazaa cicatlfico mvolucioaario** [derivado) det **azoviozieato de iaveatigacióa gcaeral de los sistemas, (coa ua]** cúmulo de principios, idear y ahondnmientos que ya han estable- cido un grado superior de orden y de comprensión cientificos m mmhas áreas de la biologla, la psicologJa y algunas ciencias flsicai... La modeme investigación de los sistemas puede servir *d#* base a un marco mts adecuado para hacer justicia a las compkjidadçs y propiedades dinámicas del sistema miocultural.

El curva los acontmimicntos en nuestros tiempos sugiere una concepción análoga en la historia, incluycndo la consideración de que, deaputs dc iodo, la historia es miologla hecitndoee, estudia- da «longitudinalmmte». Son las miamai entidades amioculturaks les que la etiología investiga en su estado presente y le historia en se devenir.

En otros tiempos puede haber servido de consuelo echar la culpa de atrmidades y estupideces a malos reyes, ptrfidoa dictadores, la ignorancia, la superstición, las carencias materielm y cosas asI. Por cito la historia era del estilo equién-hizo-qué»: «idiográfica» ce el término técnico. Así, la Ouerra de los Treinta ados fue conse• cuencia de la euperstici6n rcEgiose y de las rivalidades de los prínci- pes alemanes; niapoleón puso a Europa de cabeza en virtud de su ambición desmodida; la Segunda Guerra Mundial se debió a la perversidad dr Hitler y a la proflividad búlica de los alemanes. Henos perdido este bienestar intelectual. En condiciones de democracia, instrucción universal y abundancia general, aquellas **cxcusas de las atrr<idadcs humanas fracasea mieer8btcmentc. Al contmplar cómo se hace la Iústoria contemporéaea, resulta dificil** adscribir su irracionalidad y bestialidad a individuos nada más (a menos que les otorguemos una capacidad sobrehumana —o subhumana para la maldad y le estupidcn). Más bien parecemos victimas de «fuerzas históricas»; sec lo que fuere lo que tsto quiera decir. Los acontmimientoi parecen envolver algo más que

7

lvi decisiones y acciones individuales, y estar determinados m4s bien por «siaemas» smioculturales, tiátesc de prejuicio, id¢ologiai, grupos dt presión, tendmiei s‹xáalm, el cmimimto y ls decedencie de civilizecionec y quitn cabe cuánto más. Sat¡einos científica y pmieamente cuáki van a ser los efectos de 1s contaminación, el deipiFarro de los naturales, ls explosión deniogttfica, le carrera armamenticta etc. Cadc dla nos lot’ iten incontables *ch*ticos que esgrimen srgummtos irmfu.tabks. Pem pt los guiar necionalm ci 1s cociedad en conjunto en condiciona de h cjr nada por reinediarlo. Si no q or uoa eiplioación leísta *Dna* pr*r* r*e net* &me *iat—. m* eegitir*!*alguns *i*r *-*

Aun apre:tando la v•gcedad de'cooceptos como el de civilización y las limitaciones de «gmndes teoñaa» eotino les de Spengkr y Toynbee, la cuestión de las regularidades o leyes en los sistemas smimulturales tiene sentido aunque esto no impliqie por fuerza la iaevitebilidad hiitórícn según Sir liiiah Berlln. Un panorama hirt*ó*rir*:o* cono el que McNeill intitul6 Tm de o/hr iPesi (1963), subrayaivio dmde el título su posición antispengíerínae, no dçjn de Por, con todo, une ezpoaición de meterme históricos. SomcjAnic concepción invade campoi qur m diríen aperte, de modo que la

«escuela arqueolópcs 'de prmeso’» so dice «iurpdn del armazón debido a Ludwig von Bortalenffy para cl caso del embrión m

Tn coyunturas cñticai y, luego de tiemblo, no puedm retomar

a su peuta de origen» (Flaenery, 1967).

Ea lsoto qne Ie az<ioIo$Ia (y precuzaihlezocaîc te kiatoria) trate dc orgaaizmioaes iafortaatcs, ofro adelaato recimtc es la tnoria de las orgaoîzacioacs forazatcs, o sea dc mzucturas emrupulosezaca- tc iastituidas, tales como cl cjfrcito, la haroccacia, las easpresas

de negocios, G. Bctn tcorin efñ cenmarcadn en una ííloaoíla que

trata de la «organización ooi o sistema de variables mutuamente dcpendimtca»; de ml que «la m‹>$erne tmña de la organiznció• conduzca caai iaevitnblemmtc a una d cuiión de ln icorla ge•crel de lot tscott. l96l). en Cambiar de alguien qu\* practica la investigación operacional:

istido al su ’ ‘ento

1. **TEORÍA ORM8RnL DR LCD SBJBRAS**

del asistema» como concepto eleva en ls investigación cientlfica. Ni que dmir tiene, desde hace eigloi que ie estudian sistemas, pero ha sido agmgado algo nuevo... La tendencia a estudio sistemas corno mtidades sub que corno conglomerados de partes es congruente con la tendencia de la ciencia contemporánea a no aislar ya fenómenos en contextos estrechamente confinados *Uso,* al contrario, abrir interacciones pam examinarles y exami- nar aegnieatos de la naturaleza cada vez mayores. Bajo la bandera de fnvrstigacidn & item (y eua abundantes sinónimos) hemos presenciado también la convergencia de muchos más adelantos cientificos especializados conteoiporáaeoi... Este indagación, como tantas otras, cstú itnbricada en un esfucrno cooperativo qur abarca una gama creciente de disiiplinai científicas y dc ingeniería. Participamos en un esfuerzo —ecgeo el m$s vasto hasta la fecha— por alcanzar una síntesis deÍ conmimiento cientifico. (Ackoff, ,1959.)

Ik csta manera se cierra el clrcuio y volvemos a los avances de la seriedad tecnológica contemporánea de los cuales partimos. Lo que se deduce de estas consideraciones —por esbozadas y superfi- ciales que sean es que en las ciencias modernas y las nuevas ooncep- tualizaciones de la vida hacen falta nuevas ideas y categntias, las cua- les, de una u otra menera, giran en torno al concepto de «sistema». Para variar, citomos a un autor zovittico:

La elaboración de métodos cspcclficos para la investigación *de* sistemas es una tendencia general del conocimiento cientifico de hoy, al igual que la .ciencia dtl xix se caracterizaba por la concentración primaria de lb atención én la ciaboranión de formas y procesos elementales de la naturaleza. (Lewada, en Hahn, 1967, p. 185.)

Los peligros de semejante tendencia son evidentes, por desgracia, y han sido expuestos a menudo. Sogíin el psicoterapeuta Ruesch (1967), al nuevo mundo cibernético no le importa la gente sino los «sistemas»; el hombre se vuelve reemplazable y gastable. Para los nuevos utopistas de la ingenieria de sistemas, por repetir una fracc de Boguslaw (1965), prmisamente es cl «elemento humano» el componente inconfiable de sus creaciones O bien se elimina dcl todo, sustituytndolo por el *hardware* de computadoras, maquina- ria autorregulada y así por el cstilo, o bien hay que hacerlo tan

PRODUCCIÓN 9

confiable como se pueda: mecanizado, conformista, controlado y cstandarizad». Dicho con términos algo más ásptros, en cl Gran Sistema el hombre hs de ser —y en gran medida lo es ya un retrasado mental quc oprime botones, o un idiota'informado —quie- re decir: adiestrado en alguna especialidad limitada, pero por lo dem$s simple parte de la máquina. Esto concuerda con un bien cono- cido principio de sistemas, el de1s mecanización progresiva; el indivi- duo ce convierte cada vea más en un engranaje dominado por unos pocos gulas privilegiados, mediocres y chanchulleros, que per•igu•n sus intereses privados tras la cortina de humo de les ideologlai (Soro- kin, 1966, pp. 55&s).

Ya contemplcmos la expansión positiva del conocimiento y el control benéfico dcl tardío y la sociedad, ya veamoi en el movimiento de los sistem; ls llegada del *M*it*ndo feliz y* de *IP84,. aI* trecho es que esto merece estudio intenso, y con él tenemos que

*En tomo a la historia de ra teozlaf* ***los sistemas***

Hemos visto ya que en todos los campos principales —de la física subatótnica a la historia— reina eli:onseneo acerca de la oportunidad de una reoricntación dc la ciencia. Hay progresos de la tecnologia moderna paralelos a esta tendencia.

Por lo quc alcanza a averiguarse, la idea de una «teoria general de los sistemas» fue primero introducida por il presente autor, antes de la cibernética, la ingenieña de sistemas y el surgimiento dc campos afines Más adelante quedará expuesto (pp. 92 o) cómo se vio llevado a ello, pero en vista de discusiones recientes parece indicada cierta ampliación.

Cot•o pasa con toda nueva idea, eá la ciencia o donde ses, et concepto de sistemas tiene uns larga historia. Si bien el término

«sistema» como tal no rnereció hincapié, la historia del concepto incluyc muchos nombres ilustres. Como «fdoeofla natural» podemos remontarlo a Leibniz; a Nicolás de Cusa con sit coincidencia de los opuestos; a le medicina mística de Paracclso; a la visión de la historia, de Vico e Ibn-Kalduq, como sucesión de entidades o «sistemas culturales; a la dialéctica de Marx y Hegel —por mencionar unos cuantos nombres de una rica panoplia de pensado• res. El conocedor literario podrá recordar tte *ludo* gfoli (1463; cf. Bertalanffy, 1928b) de Nicolás de Cusa, y el *Glas*per*le* ipt*el*



‹k Hermann Hesse: ambos ven el andar del mundo Teflejado en

un juego abstracto, agudamentc planeado.

Hubo una que otra nbra preńminar en el terreno de la teoña *gøa*eral de los sistemas. Las *«Gestatten* flsicai» de Köhler (1924) apuntaben ea eats dirœción pero no encaraban e1 problems con gencralidad pkna y restringlan el tratamionto a *Geztalteri* en fisica (y a knómenos biológicos y paicológicos presuioiblemente interpre- tables sobre esta bøee). En ma pubńcøción ponerior (1927), Köhler planted el postulødo de una teońs de los sistemas enceminada a elaborar las propicdadeø młs generalei de los sistemas inorgãaicos, en comparaciòn con los orgänicog; hasta cierto punto, al enciientm de esta exigfncia salió la teoría de los sistemas abiertœ. La obra cläsicø dc Lotta (1925) fuc la que niás œrca llegó del objetivo, y le deberaos forinulscionea fundamentals. La verdad es que Lotka se ocupó de un conorpto general dc los sistemas (ain restțíngírse, cooio Köliler a sistemas de la fisica). Como era cstadístico, sin embargo, interesado en probIeiİias de poblaciones más bien quc en problemas biológicos de organisms individuales, Lotka —cosa algo rara— concibió las .comunidsdn como sisieinas, sin dejar do ver tn el individuo una suina de cćlulas.

No obstante. la nwesidad y factibilidad dc un enfoque de sistemas no fue evidentç hasta **hace poco. Rcsultó** por neccsidad del becho de que cl csqu¢ma mœøoicists de vies causelee aislables y el trata- miento merista resultsban insuficientes para enfrentarse a problemas teóricos, espesialmente en Iss ciencias biosociales, y a los problemas präcticos planteados por la tœnología moderna. Su factibilidad quedó en claro gracias a distintos adelantos —tcóricos, epistemoIógi- cos, œateináticos, etc.— que, aunque aùii entre balbuceos, 1o vo1vie-



rc

a

e.

**dć**



A pñncipiœ dc l

**cada det** siglo, quicn csto cscńbe

sc senìia desconcertado ante vacíos evidentes en la investigacióu y la teoría biológicas. El enfoque mecanicista entonces imperante y go acaba dc ser mencionado parœia desdeñar, si no es que negar activamentc, lo que es, ni mfix ni menos, esencial en los fenómenos de la vida. El autoi abogó por una conoețción organismi• *cø Q*trbiologla que hiciera hincapić en lv considcraciôn del organismo como un todo o sistcma y viese cl objetivo principal de las cienciei biológicas en el dtsctibrimiento de los principios de organización a sus diversos aiveles. Los primcroi enimciados del autor datan de 1925-26, y la filoeøfia’ dcl «mecanicismo orgătiico» de Whitehead

11

fue publicada en 1925. Las labores de Cannon sobre la homeostasia aparecieron en 1929 y 1932. La concepción organlsmica tuvo un gran prmursor en Clsudc &mard, pero la obra de Este casi no fue conocida fuera de Francia, y afín hoy sigue esperando ser cabalmente apreciada (cf. &mal, 1957, p. 960). La aparición simultá- nea dc ideas similares, independicntemente y en difmntes continen- tcs, fue sintoinútica de una nueva tendencia que, sin emba e•. requerida tiempo para ser acep

Lo que incita a estas observaciones es cl hecho de que en añ*os* recientes han vuelto a insistir en la «biologla organismica» eminentes biólogos estadounidenses (Dubos, 1964, 1967; Dobz- hansky, 1966; Commoner, 19.61), sin citar, no obstante, lris labores muy anteriores de quinn esto escribe, por mucho que sean debida- mente reconocidas en la bibliografia europea y de los palses socialis tas (p. ej. Ungerer, 1966; Blsndino, 1960; Tribiíio, 1946; Kanaev, 1966; Kamar¢t, 1961, 1963 ; Brndmann, 1963, 1967; Afanasjcw, 1962). Puedc afirmarse de plano que discusiones recientes (p. tj. Nagel, 1961 ; Hempel, 1965; Beckner, 1959; Smith, 1966; Scbaffner, 1967), aunque refiriéndose por supuesto a adelantos de la biología durante los últimos 40 aílos, no han agregado ningún nuevo punto de vists en comparación con el trabajo dtI presente autor.

En filosofía, la foringción del autor siguió la tradición del neopo- sitivismo del grupo de Moritz Schlick, posteriorincnte llamado Círculo de Viena. Pero, como tenia que ser, su interés pn cl misticis- mo alemán, el relativismo histórico dc Spengler y la historia del arte, aunado a otras actitudu no ortodoxas, le impidió llcgar a ser un buen positivista. Eran más fuertes sus lazos con el grupo berlinés de'la Sociedad de Filosofia Empírica en los años veintitan• tos; alli **dexollabait** el filósof”o-físico Hans **Rcicbenbach, cl psicólc** go A. Herzberg, cl ingeniero Parscval (inventor dcl dirigible).

En conexión con trabajos experimentales acerca del metábolismo y el crecimiento, por una parte, y con un esfuerzo por concretar el programa organismico, por otra, fue ádelaatada la tcoria dc los sistemas abiertos, fundada en el hecho bastante trivial de que el organismo resulta sep uno de ellos, si bien por aquel entonces no había teoria. La primera presentación, luego de uno que otro intento, figura en este volumen como capitulo v. Oe euerte quc la biofisica parecía requerir una cxpansión dc la teoria fisica acos- tumbrada, por et rumbo de la generalización de los principios

t2

cintticoe y de la teoria termodinámica, la cual mâe tarde seria conix:ida como ttrmodináitiica iirevcrsible.

Quedó de manifiesto entonces otra guneralización. En muehos fenómenos biológicos, pero también de las ciencias sociales y del comportamiento, resultan aplicables ¢xprcsiones y modelos matemá- ticos. Evidentemente, no es. cosa de las entidades de la física y la química, y en este sentido trascicnden la física como paradgón de «ciencia exacta». (Dicho sea de paso. el autor inició uria serie, *Abhandlungen* ***zur*** *exakten* ***Biologie,*** para suceder a las *3bh*‹e*idIungen* our @eoretiscàen ***Biologie*** de Schaxel, pcro hubo que suspenderlas por la guerta.) La similitud estructural entm semejantes modelos y su isomorfismo m diferentes campos se tornaron ostcnsibles, y em cl centro qiiedaron precisamente problemas de orden, organiza- ción, totalidad, teleologla, ctc., excluidos programáticamente de la citncia mmanicista. Tal fue, la idea de la «teoria geperal de los sistemas».

Los tiempos no eran' favorables. La biologia era tenida por idêntica al trabajo de laboratorio, y tl autor cntr6 en un limbo al publicar su *Theoretische Biologie* (1932), otro *caaspo* que no hacr mucho pasó a ser acadtmicamente respctablc. Hoy por hoy, cuando hay tantas revistas y piiblicaciones de ests dixiplina y la claboración de modelos se ha convertido en pasatiçmpo bien visto y gcncrosamente patrocinado, no cs fácil imaginar la rcsistencia a aquellas ideas. La afirmación del concrpto de lx teorla general de los sistemas, especialmente por el difunto profeson **Otto** Põtzf, psiquiatra de Yiena bien conocido, ayud6 al autor a superar sue inhibiciones y preparar un escrito (reproduzido como capitulo rir de este libro). Una vez más intervinp el destino. El artículo (en la *Deutsche Zeiischrift for Philosophie)* fut leido en pruebas, pero el númcro que lo traía qued6 destruído en la catástrofe de la última guerra. Paeada ésta, la teoría general de los sistemas luc preseniàda en conferências {cf. Apêndice), ampliamente discutida con físicos (von Bertalanffy, 1948a) y en plttkai y coloquios (p. fj. von Btitalanffy er of., 1951).

La propuesta de la teoría de los sistemas fue recibida con incredu- lidad, por fantástica o presuntuosa. O bien —dmíae=— dra *trivial,* por no ser los llamados isomorfismos sino nieres ejemplos del hecho palmario de resultar aplicables las matemáticas a toda suerte de cosas, lo cual no llevaba a tnayor «descubtifniento» que la aplicabilidad de 2 + 2 = 4 a manzánai, dineros y **galax**ias por igual;

**tNTAODUCŒÚN** 13

o bien era *Jo/sa* y eçuivoco, en vista de que analogias superficiales

—coino en la famosa comparación dc la sociedad con un «organis- mo›w disimulan diferencias gcnuinas y conduœn así a conclusiones erradas y hasta moralmente objetables. Para otros, cn fin, era filosófica y metodológícamente invófioõ porque la pretendida «irrc- ductibilidad» de niveles supcriores a inferiores tendia a impedir una indagarión analítica cuyo éxito era evidente en varios campos, como la reduœión de la química a principiœ fisicos o de los fcnómenos de la vida a la biología molecular.

Gradualmcnte fue vitndose que tnles objecioncs no atinaban con lo que represcnta la teoría de los sistemas: intentar la interprets- ción y la teoría científicas donde antcs no habła nada de elio, así conio mayor generalidad que en las ciencias especiales. La teoña general dc los sistemas respondía a una secreta tcndencia en varias disciplinan. Una cartø dtI economists K. Goulding, fœhade en 1953, resumió bien la situäción:

He lIeJado casi cast a la misma conclusión que ust¢d, aunque partiendo dtl rumbo dc la economic y las ciencias socialcs, y no de la biologia: quc hay un cuerpo de lo que vetlgo II inando

«tcońa empírlca general». o «teoría general de los sistemas»

—por usar su excelcntc terminología—, dt amplia aplicabilidad a muy diversas disciplines. Estpy seguro de quc mucha gentc en el mundo ha àlegado a posiciones tscncialmente iguales a la nuestra, pero estàn muy dispersos y no se conocen: asi de dificil es cruząr los limited entrc las disciplinas.

Dufante eI primer aöo del Center for Advanced Study in the Behavioral Sciences (Palo Alto), sc encontmron Boulding, eI bioma- temético A. Rapoport, cl fisiólogo ltalph Gerard y el presents autpr. En la reunióo anual de la American Association for the Advancement of Science dc 1954 cuajó el proyecto de una sociedad dedicada a la teoria general de lox siatcmas. El nombre fue cambiado luego por el menos presuntuoso de Sociedad para la Investîgación General de Sistemas, afiliada ahora a la **AAAS** y cuyas reuniones son muy concurridas en las convencio•c• de la AAAS. Fueron estab1eci- dos grupos locales de la Sociedad cv varios centros, primero de **Esta-** dos Unidos, lucgo dc Európa. m programa original dc la Sociodad

La Sociedad par8 la InVestigación General de Sistemas fue orğanizada en 1954 para impulsar el dTsarrollo de iistemas teóri-

cos aplicables a init de uno de lee compartimientos trad¡c¡pna1¢s **del TOftHimtTntO. Sttt** ftl0Ti0tlfi }ifit1fiQ41& son: 7) invcstigar el immorfisoso de conceptos, lcyei y modelos en varios campos, y fozneatar provwbosas transferencias de un cezapo a otro; 2} estimular el desarrollo de modelos teóricos adecuados en los canpos quo de ellos; J) m»iimizar in repetición de esfuerzo teórico ea diferentes campos; 4) promover la unidad de ie ciencia mejorando la comunicación ente especiali¢tai.

Los anuarios *d¢* In sociedad, *G*en*eral tystn,* bajo la eí"iciente reducción de A. Rapoport, le han servido de órgAno desde mtonces. *Oral Syii*err*u,* inteticionslmente, no sigue una política ñgida sino que publica trabajo que difieren m intención, ngún paz convmir a un campo necesitado de ideas y exploración. Numerosas investigaciones y publicaciones sustenciaion la tendencia en vaños cempos; a ió una revista, ñfaifiemoticot *Systems Theorj.*

Micatcas taato bubo otro proa Cjóezw•yics de Norbert Win aer spazoctó ca 1948, coaio resultado de lae adclaatos **eatoaces** zecieotes ea b tcmologla de tas cozaputadoms, la tooric de la iafonaacióa y les zañquioas autorreguladas. Otra vez se dio uae coinúdmcia dcc las que u prcseataa cuaado boy idess ea ¢l aire:

lá *C*j4›r*meitcc* de Wiencr (1948), ls teork de la información de Shannon y Weaver (1949) y la teorin de los juegos de von Neumenn y Morgenstern (1947). Wiener llevó los conceptos de cibernética,

de la t¢mologta, y k›s geaecalizó ca los doaúaios biológico **y.aocial.** Ss vetdad qac Is cibem£tina oo cazeció de pracursoms. Et concepto de boazeostasia dnbido a Caaaoa fue piotra eogular en estas coasido- raciones. Moaos coo¢<i4os moóetos detallados de fmómcnos fisio• coa mtroa1iacatacióa babtea sido olsboradoa w la tercera

por cl fisiólogo aJeosáa Richard Wagaer (l9H), por cl Isumedo Nobel su¡zo W. R. I4esa (t941, 1942), y ea dl &s erezizprf/s- zfp de von Hola. Le eoorme popularidad de b cibernética ca la ciencia, le Mologie y la publicidad genwal m debe, ni que detír tiene, a Wieoer, cnn cu proclemación de la Segunda Revolución

Le esWbn correspondencia entre loa dos movimientos queda de man*íy*esto en un ewuncindo progr•mático de L. Prank, abriendo una conferencia de cibemúticc:

Los conceptos de conducta intencional y de tekologla ac han asociado por largo tiempo a una misteriosa capacidad auto• perfectiva o buscadora de metas, o caus final, ordinariamente de origen sobiehuinano o sobrenatural Para adelantar en el estudio de los acontmeres, el pensamiento científico tuvo que rechazar aenieiantei crmncies en el propósito y en conceptos de operaciones teleológicas, en favor de una visión estrictamente me:a0iciita y determinista de la naturaleza. Eata ‹Concepción inecanicista quedó firn:tamente establmidi con la demostración de que el universo m bache en la operación dw•partículai anónimas que se movían al azar, de eiodo desordenado, generan- do, con su multiplicidad, oñler y mguleridad de naturelezp estadística, corno en la fliica clásico y les leyei de los gases. El triunfo irrebatible de tnies ‹xin‹xpto4 y rnt'todos en física y aaroaomiA, y luego en química, dio a la biologls y la fisiología su orientación preponderante. Este enfoque de los problemas de los organismos fue reforzado por lot afanee anallticos”dc la cultura yjos lenguajes de la Europa occidental. Los supuestos básicos de nuestras tradiciones y las periistentm implicecionei del ieogupJe que usamos, casi nos fuerzas a abordar todo lo

a¢pazados, discretos, que debemos tratar de aislar e idcatificar *ao*za*o ceaaaa* poteates. De abl derivazoos auestra ptsocutacióo por cl estudio de la mlacióa catre dos vaúsbtes7 Sozaos hoy testigos de u0s bfisgueda de auwoa cafoguss, de conceptos auevos y zoás azaplios y de az5todoe capaces de •órseIas coa

mmanismo tceo gico, am unportar uno p a aer exptoaa- do en ttrm.inos diferentes, puede verse como un intento de par de estas viajar formulaciones iecanieistes que hoy resul-

ten inadecuadas, y de presentar nuevas y fecundas concepciones y metodologlai mía Jmtivas para estudiar los prmesos de auto- rreguloci*ba,* les iistemes y organismos con autoorientación y las ¡msonaliéades que se autodirigen. Aaí, expresiones como

rtMiimeritorfdn. *serromccmfistrias, s‘eternas circulares y precios*

*circutm'*ci *p*uedencer tomadas corno expresiones distintas perb

e• gie• medida Quivelenies de la miama conc¢ ión. (Frenk Ra¥e0az d dezazzoflo de Es cfberaética ca le tecnología y la

16 mOIüA €EN£:RAL DE U5 SDTED4A9

ciencia seria ylir de los alcances de este librõ, además de ser inriece- Ker*io, e*n vista de la rica bibliografia de cste campo. A pcsar dc ello ecte rcpaso histórico no deja de ser oportuno en vista de ciertas equi- vocaciones e interprctaciones trradas. Así, Buckley (1967, p. 36} afir- rna que «la moderna teoría dc los sisiemas, aunque surgida al parœer *de note a* partir del esfuerzo de la última gutrra, puede vgrse como culminación de un vasto cambio de.punto de vista, que llevaba unos siglos trøtando de imponersr». La segunda parts del enunciado es cicrta, mas to la primera; la teoría de los sistemas co surgió «del e+ fuerzo de In última gucrra» sino que se remonta a mucho más attfis y tiene raíces muy distintas dcl ńardt\*ore militar y cuestioncs tecnoló- gicss afinr. Tampoco hay «emcrgtncia fie la teoría de los sistcmas *a yønìr* dc rœientes edelantoe en el anålisis dc sistemas dc ingenierla» (Shaw, 1965), eiœpto en uti sentido especial dø la palabra.

La teoña de los sistemas es tambitn frecuentementc ideritificøda con lø cibernttica y la teoña del control. Este es animismo incorrœto. La ciberiittiea, como tooña de los mecanísmos de control en la tecnologla y la naturaleza, fundada en los conceptos de inforniación y retroslii eiitación, no es sino partc de una teoría general de lot sistemas; los sisteinas cibernéticos son un caso especial —por importante que sea— dc los sistcnias que exhibtn autorregulación.

*T*err*dencias en la* teoría &• *low słstemas*

En tiempœ en qu¢ cualquier novedad, por trivial que sea, cs sø- ludada llnmändola revolucíonaria, estt uno harto de aplicar este rôtulo a los adelantos científicos. En vistø dc que la minifalda y el csbelRi larøo œ designan como una rcvolución en la adolescen- cia, ÿ cualqu;er nuevo niodelo de automóvil o de potingue lanzado por 1s industris tarmac 'utica constituyen revoluciones tambitn, la pølabra es ma inulciilla publicitaria que no mTrme conaideraci6n serta. Puede, ain embargo, eer cmpłcads en un aentido tstrictamente tćcnioo: lv «rcvoluciones científicas» son identificøbles merced a cicrtœ criterion diagnósticos.

A la zaga dt Kuhn (1962), una revolts:ión científica es definida por 1s aparìción de nucvos esquemas conmptuales o «j:iøradigmas». Estos ponce eti primer plano aspectos quø anteriormente no eran vistos o percibidos, o por ventura ni siiprimidos, en la ciencia

«normai», es decir la ciencia accptada y practicada generalmente

en el tieinpo en cuestión. Hay asi rim desplazamiento de la problemá-

**1NTRODUCGÓN** 17

tica advertido e investigada y un cambio en las reglas de la práctica científica, comparable a la mutación de *Gestalten* perceptuales m ex- perimentos psicológicos en que, p. ej., la misma figura puede ser vista como dos caras y una taza o como un pato y un concjo. Es compren- sible que en tales fases críticas se haga hincapié ce el análisis filosófi- co, no sentido como necesario en períodos de crecimiento de la cien- cia «normal». Las primeras versiones de un nuevo paradigma suelen ser toscas, resuelven pocos problemas, y lai soluciones qi= dan a te- tos distgn de ser perfectas. Hay profusión y competencia de teorías, limitada cada una con rmpecto el número de problemas que cubre *y* resuelve con elegancia. Sin embargo, el nuevo paradigma abarca nuevos problemas, especialmentc los qut antes eran **rechazados** por

«mctaflsicos».

Kuhn dedujo estos criterios dtl estudio de las revoluciones «clási- cas» en física y química, pero describen de maravilla los cambios aca- creados yorlos conceptos organlsiriico y de sistemas; además de dilu- cidar sus méritos y limitaciones. Especialmente, y no hay que soz- prenderse, la teoría de los sistemas comprende un conjunto de enfo- ques que difieren en estilo y propósito.

El problema dc los sis:cmas es esencialmente el problema dc las limitaciones de los procedimientos axiallticos en la ciencia. Esto solia ser expresado en cnunciados sernioietafisicos, como el de In evolución emergente y lo de que «cl todo es m5s que la suma de sus partev›, pero tient ua sentido operacional claro. sProceder analítico» quiere decir que una entidad investigada es resuelta en partes unidai, a partir de las cuales puede, por tanto, ser constitui- da o reconstituida, entendiéndose estos procederse en sus scotidos tanto material como conceptual. Es tste el principio básico de la ciencia «clásica», quc puede circunxribirse de diferentes modos: resolución en enca‹knamientos causales aislables, biisquoda de unida- des «atómicas» en los varios campos dc la ciencia, G. El progreso de la cíencia ha mostrado que estos principios clásicos, que Galileo y Descsrtes fueron los primeros en enunciar, tienen éxito espléndiJ en variadísimos campos de fenómenos.

Le aplicación dcl pr‹xcdimiento analítico depende de dos condi- ciones. La primera ts qut no existan interacciones entre «partes», o que. sean tan débiles que puedan dejarse a un lado en ciertas investigaciones. Sólo con esta condición es posible «deslindar» las partes —real, lógica y matemáticamente y luego volverlas a «jun- tan›. La segunda condición es quc las relaciones que demriban

el comportamiento de pertes scan lineales, sólo entonces quede satisfecha 1s condici6n de aditividad, o ses que una ecuación quç Mriba la conducta del total tiene la misma forma que las ecuacio- nes que describen la conducta de los partes; los procesos parciela pueden ser superpuestos para obtener el proceso total etc.

Smejantes condiciones no las cumplen lei entidades llamadas sistemas, o sea consistentes en partei «en interacción». RI prototipo de su descriç<ión es un conjunto de ecuaciones difcreniziales siotultA- ness (pp. 56 ss), qw son ao Iin¢tles cms d **casos** gnaczal. **Puede** ser

ced a la exíitencie de «intciamimm fuertes› (Rapoport. 1966) o interacciones «río m ••» tsimon,1965), el dmir, no litreales El problema metodológico de la teoria de toa sistemas, pues, es vérselai con cuestiones que, comii radss con las anelltko-aditivas de la ciencia clásica, ion de náturaleza más general.

Como n ha dicho, hay varios enfm¡ues para mfrentarse a tales problemas. Esto de los «enfoques» et intTncionalnwnte vngo, pues son lógicamente rio homogéneos, gritan distintos modelos con- ceptuales, técnicas matemáticas, puntos de vistn gmernles,. etc.;

éoncuerdsn, sin embargo, en ser «isorlas de sistetans». Dejando Aperte procederse de la investigación zpllcada —asl la ingenierle del sistemas, la investigación operacional, la programación lineal

un btien resumen, cf. Drischel, 1968.)

**L8 teoría** «cfMZca» W boa JÚfPmo apliM &B t **clÁócRi,** o ses el cálculo infinitaimel-. Aspira a enunciar principio apticablm a cisternas en general o ú subclases definides (p. ej. rieteiiics cerrados y abiertos), a proporcionar t&nícas pare sa investigación y descrip• ción, y aplicar éstes a casos concretos. Ru virtud de k generalidad de tal descripción, puede zfirrnaree que algunas propiedadm formales serán aplicables a cualquier cntidad 9itn alstenia (o sistema abiwto, o sistema jerárquico, etc.), euo cuando sus particulares naturakza, partes, relaciones, etc. se dcmnozcan o no se investiguen. Hay entre los ejemplos principios generalizados de cin 'tica aplicables,

v. gr., a poblaciones dú moléculas o eotídadm biológicas, o sea a sistemas qulr0isos y ecológicos; la difuiidn, en les ecuaciones que la definen en fisic‹x¡uímice y m la dihiaión de rumores; ra aplicación de modelos de eatado uniforme o equilibrio dinámko *lsiead state)* y de mecânica estadlstica al tr8Fzco (Gazis, 19ó7}; el análisis alom6trico de sistmas biológi¢ós y

19

*Com*putertr*ac*ido *y* r o«/ocidn. Los cpnjnntos de ecuaciones dife- metales simultúnees como camino hecia un «modelo» o una definl- cióa de ua cisteoza son fasttdiosos de reeohw, si soa (locales, hauta en cl creo de variables, de no serlo, no pueden resolverse salvo en casee especiales (cuadro 1.1). Por eta razón los computado- ras han abierto un nuevo cemino en la investigación ‹ie. zistemasi no sólo facilitando cákulos que de otro eoertc habrían requerido tiempo y eaezgla ¢zcwivos y zeemplazaado el iageaio azatm›ñtko

r ”znieatos rutiaazioa eioo tazabióa cbzieodo caza d

asl compuleriz r eigeman quo van más sllú do lvi matem£ticai







el laboratorio pueden m en&ituidos por aimuloción ea computado- ra, el modelo akeozndo ser vwif lado entonces con datos en ’- zaeatahs. De esta fozzoa, por ejeasplo, cakut6 B. Hees Is cadma glicoMtica cahdac, de catozos pasos, ca un zaodclo de zaás de UI ecuaciooes diforenc ao IioeaJes. Aaêlisis siozitnres soa cose de



20

puede ponerse ap«rie, en 'vista de la gran sutileza que alcanza dicho campo, es la teoria de los compartimientos (Rescigno y Segre, 1966): el sistema consiste en subunidedes con ciertas condiciones de frontera, entrc las cuales se dan procesos de transporte. Tales sistemas de compartimientos pueden tener, pongamos por caso, estructura «catenaria» o «mamilar» (cadena de compartimientos o compartimiento central en comunicación con múltiples periféri- cos). Es comprensible que las dificultades matemáticas se tomen **probibitivas ca cd caso de sistmas de** tres o **més** cozaponentcs.

£i anáiids resulta posible gracias a transformaciones de Laplace y a la introducción de la tcoña de las redes y las gráficas.

Peorfo ‹2e ?os confio\*. Las propiedades formales generales de sistemas, sistemas cerrados y abiertos, etc. pueden ser axiomatizadas en términos de teoría de los conjuntos (Mesarovic, 1964; Maccia, 1966). En elegancia matemática esic enfoque se compara favorable- mente con las formulaciones más burdas y más especiales de la teoría «clásica» de los sistemas. Los nexos cntrc la teoria aniomatiza- da de los sistemas (o sus inicios actualcs) y los problemas reales de sistemas son un tanto tenues.

*Teoría de las* grdj?coi. Muchos problemas de sistemas conciernen a sux propiedades estructurales o topológicas antes que a relaciones cuantitativas. Se dispone de más de un acceso al res to. La teoría de las gráficos, en Special la de las gráficas dirigidas (digráfi- cas), elabora estructuras relacionales reprcscntfindolas en un espacio topológico. Ha sido aplicado a aspectos relacionales de la biología (Rashevsky, 1956, 1960; Rosen, 1960). Matemáticamcote ce vincula al álgebra de matrices; por cl lado de los modelos, a la teoría de los sistemas por compartimientos son subsistemas parcialmente

«permeable», y desde aqui a la teorla de los sistemas abicrtos.

La *teoria de las redes. u* su vez, está. ligada a las teorías rte los conjuntos, las gráficas, los compartimientos, etc., 7 se apli- ca a sistemas tales corno las redes nerviosas (p. ej. Rapoport, 1949-1950).

La cióernJtico es una teoria de los sistemas de control basada en la cozaunicación (traasfczeacia de infortaación) **eatrc sisteraa** y medio circundantc, y dentro dcl sistema, y en el control (raroali- mentación) del funcionamiento del sistema en consideración al me- dio. Según mcocionamos y volveremos a discutir, el modelo tiene extensa aplicación **pero no ke de idcntifimrsc coa la «teoúa dc** los sistemas» en general. En biología y otres ciencias bíaicas, el

21

modelo cibernético conviene pera describir la estructura formal de mecanismos de regulación, p. ej. mediante diagramas de bloques y de flujo. Así se logra reconocer la estructura reguladora aun cuando los gcnuinos mecanismos permanezcan desconocidos y sin describir, y el sistema sea una «caja negra» definida sólo por entrada y salida. Por razones parecidas, el mismo esqucma cibcrnttico puede aplicarse a sistemas hidráulicos, clóctricos, fisiológicos, etc. La com- pleja y sutil teoria de los servomecanismos en tecnolpgla ha sido trasladada sólo m grado limitado a sistemas naturales (cf. Baylies, '966; Kalmus, 1966; Milsum, 1966).

La feoris & lo *informorid›i,* en el sentido de Shandon y Weaver (1949), se bese en el concepto de información, definido por una expresión isomorfa con la entropfa negativa dc la terinodinámica. De ahi la esperanza de que la inforgmción sirva de medida de la organizacíón (cf. p. 42; Quastler, 1955). En tanto quc la teoría de la igforniaci6n ganó importancia en íngenieña de comunicaciones, sus aplicaciones a 1s ciencia no han llegado a or muy convincentes (E. N. Glbert, 1966). La relación entre información y organización, teoña de la información y termodintmica, sigue siendo un problema decisivo (cf. pp. 157 o).

*la teoría de los* ‹tviómotei (ver Minsky, 1967) es la teoría de autómatas abstractos con entrada, salida y posiblemente ensayo• y-error y aprendizaje. Un modelo general et la máquina de Tubing tl93d). Expresado en su manera más simple,.un autómata de Turing es una máquina abstmcta capaz de imprimir (o borrar) las marces «1» y «O» en una cinta de longitud infinita. Es demostrable que cualquier provean, de la complejidad que sea, puede ser simulado por una máquina, si este premio xc cxpiesable mediante un número finito de operaciones lógicas. Todo lo que act posible lógicamente (es dmir, en un simbolismo algoritmico) tambite puede ser construi- do —en principío, aunque es clero que en modo alguno siempre en ln práctica— por un autómata. o sea una máquina algorítmica.

La ieorfe de í‹zr jiirgoi (von Neumaan. y Morgenstern, 1947) representa un enfoque diferente pero puede agingarse a las ciencias de sistemas por ocuparse del comportamiento de jugadores supuesta- mente «racionales» a fin de obtener ganancias máximas y pérdidas mioimas gracia a estrategias apropiadas contra el otro jugador (o la naturaleza). Tiene aií que ver esencialmente con un «sistema» de «fuerzas» antagónicas con especificaciones.

Le teoría & b &ebidn es una tmría maternities que ee ocup de ele iones entre posibilidadcs.

La reorfa & Îœ role se ocupa de ia optimizøción de dispoaiciones en condiciones de apiàamimto.

No homogènea e incomplete como cs, aiezclando modelos (p. ej. tistcma abierto, ciicuito de retroalimentación) con tòxiicas matc- mäticas (p. cj. las teoría• de lot conjuntos, las grúficai, los juogos), semejante enumeración ayudn a mostrar que hny una eerie de enf°• ques para iavestigar tistemas, incțuyendo poderosos inttodos mało- múti El punto que debe reitersræ es quo problemas no considers- dos antes, no abordables, o tenidos por extmcientlficos o purementø

van siendo exploradoi pr gresivaæento.

No hay ni que decir que e incmido existe incongrumcia entre modelo y reańdad. Hay ioodelos mstei ticos Amy coœplkedœ y rebuscados, pero no deja de ær dodoso cóe o  a  al caso cóncreto; existen problemas fundamcntales pere *lœ*’ cuales no disponeæos de ttcnfcas matcmåticøs. Ha habido døsencanto de esperaozai encesivai. La cibcmttica, pongamos por zoo, demoa• tró su rcpercusi6n no iólo en la tecnologla sino en ciencias błaic¢s, al propoioionar aiodelos para fenómenos concretos y tracr fenóme- nos teleológicos —antes tabú— al åinbito de los problemas cientlfø caewntc legitimoi; mas no ofree6 sea explicøción totalimatc o gran «visit del mundo», per & sión mls que teemplaœ- miento doì punto de vina mœanici@ y fie lø teoría de law màquinas (cf. Bronowski, 1964). La teotla dc @ ínformación, ten d aixollada matcmäticameate, iesultó uq c pñcologia y aociologlæ La teoña de los juegos fa aplicæla æpemnmdafnenis a 1s guetm y la poétîca, pero co sc nota que’ knya œzużocido a æejomØioato de las decieionee polticas y del estado del muœlo, ft no inesporado cuando se considers cu£u poco se partner las poteiväas a los jugadores «racionalea» de la teoña de los juegos. cot

y modelos de e9uilibiio, homcostasiti, ajpcte, ed convieuen para

el mantenimieato de iiatctnas, pero son inadœuedœ pera fenòmenœ de cambio, diferencieción, evoluciòn, neguentropla, produœión de estadœ i iprobeblea, creøtividad, estableeimiento de tei&once, auto- rrealizació e i etc. Ya Cennon lo advirtiò al rœoßœør juato a la boæœatæia, uoa «beteroetasîa» que iadtds **fœóœeaœ de las otras aaturatezss. La teoría de** los siet<azas **abiortos es** aplina a una vssta gamø ‹k fenòmenos eø biologln.(y Mologla), pero hay que prevents contre su expansión incautn a cempos pam los

23

cuales no son sus conceptos. Semejantes limitaciones y lagunas son de esperarse en un campo que apenas hs cumplido veinte o treinta años. En última instancia, el deaencanto proviene de conver- tir lo que es un ru‹>ielo útil hasta cierto punto En alguna realidad metafitics y en filosofía del «nada sino», como ha pasado tantas wes en la historia intelmtual.

Las ventajas de kis modelos matemáticos —no arnbigiicdad, posi- bilidad de deducción estricta, verificabilided por datos observador son kim conocidas. No quiere esto decir que nnodeloi formulados en knguajc ordinario Imyao de wr dcsd¢dados o z cbazadw

Un madé'/o wzóof es preferible a aiaguao o a ua aodelo que, por poder ir focósukdo azetaaútimzocate, es iaspzesto por la fúozza a la zm1idad y la félsifica. Teorías eaorraemcotc iafluymtes, coato el psiooaoéTieis, oo fueroa aatezoéticas, o, cooso B teorlc de In selección, an iaflueacia lieg6 tnicho más lejos que hr Dios

algozilzno osucbo azés preciso qu¢ cl dcl leaguaje ozdiaado. {-a kistona de la ci¢ama at¢sttgaa que la mpresióa ea t«aguaje ordioario

de un algoritmo. Aciu$en eD mguida eiemploe a lar mieDtes: el peso de contar en pelebrea a los números romanos (seinialgoritnio aemixerbal y barto) y a la notación arábiga con valor posicionar; ecuacioim, desde lx formuhcidn vednl heste el rudimentario simbo- liaoo mao¢jado coa vittuociatao (suogue para vosotras dificú de sagufr) por Dio£aato y otroa ftuzdadores del Álgebra, y de abi a la Bota¢áóa zaoderaa, teoztasoozoo las de Dazwia o de la ecoaoazia,

vattido, Tn eepera del surgimiento venidcro de nlgún algoritmo apmpiado, que pariir del modelos matemáticos ptematuros que

vüuaL Muchos adelantos Tn biología molecular, teoría de la mlec- ci6n, cibernética y otcoi camjx exbibieron 1s rfectoi cegadores de lo que K.nhn llama ciencia «normaK uemás conceptuaks

Ad la modelos en lenguaje onliiierio tienen an sitio en la

teoña de In aietetitas. La idea de daema coma su valor incluso

donde no puede ser formulada znatem$ticamente, o no deja de ser una «idea guia» en vez de ser construcción matemática. Por ejemplo, podemos gr de conceptos de sistema satisfactorios en eociologla, pero la simple apreciación de quc las entidades sociales son aiitemas y no sumas de fitomos sociales, o de que la historia consiste en siaemas (por **mal definidos** que están) llamados civiliza- ciones y que obedwen a principios generales de los sistemas, implica una reorientación en los campos aludidos.

Tal como puede verse por cl repaao anterior, dentro del eenfoquc de sid hay tendencias y modelos mecanicistas y organlsmicos que trAtan de dominar loc sistemas ora por «análisis», «causalidad lineAl» (incluyendo la circular), «autómatas», ora merced a «totali-

**dad», ciateracci6a», «diaózaica» (o las palabras que se uaaa para** circunscribir la diferencia). En tant‹i que ertos modelos no se exclu- yen mutuamente y aun el miamo fcnómmo sea abordable mediante diferentes modelo (conceptos «cibernúticoa» o «cintticos», p. ej.; cf. Locker, 1964), puede preguntarse qué punto de vista será el in$s general y fundamental. A grnndee rasgos, es ésta uaa pregunta que hacer a In máquina de Turing como autómata general.

Una consideración oportuna (y no tratada, que sepamos, m la teoña de lot autómatai) es el problema de los números «inmen- aos». El mu ciado fundamental de la tenña dt los autóoiatas es que los acontcceres que pucdm definirse con un número finito de epalnbras» con realizables pnr un autói ata (p. ej. una red neural formal según McCulkch y Rttt, o una máquina de Tying) (von Neuomnn, 1951). La cuestión msíds en cl calificativo de «fini- to». El autóineta puede, por definición, una serie finite de acontecimientos (per larga que sea), pero no uns infinita. Pero

**¿y cuñado** el’a casero **de pasos ceqacrido es ‹damcasa», o sea oo iafiioito pero superior, p. ej., al aúmcro de particulas dcl uoivorso** (estimado del orden de l0•°), o al de acontecimientos posibles

(según ie propuaita de Elsasser, 1966, un número cuyo logaritmo et un número greode)7 Tales números intensos apere:on en muchos problemas de sistemas con exponeociales, factoriales y otras funci‹>- net exploaivemente creciente. Surgen incluso en sistcmas con núme- ro in‹xlemdo de componentes que interect0ca con fuerza (en grado no desdefiable) (cf. Ashby, 1964). Para «delinearlos» eii una máquina de Turing harla falta una cinta de lonptud «inmensa»: que excodiera no sóló e las limitaciones prácticas sino a las físicas.

**NMaODUCCIÓN** 25

Considireee, como ejemplo concilio, una grtfica dirigida de *N* puntos (Rapoport, 1959b). Entre cada par puede Existir o no existir una flecha (dos posibilidades). Hay aé 2^t" '\* diferentes modos de conectar *N* puntos. Si *N es* sólo 5, hay mdi de un millón de maneras de conectar los puntos. Gon *N --* 20, el níimero de modos es superior al que en estima que hay de fitoizios en el universo. Problemas similares surgen, p. ej., con las conexiones posibles entre neuronas (número estimado del orden de 10 0fD millones en el cenbro humano) y con el código genético (R , 19ó2). En el código (o clave) hay un mtnimo de 20 (en verdad hay 64) «palabras» (tripletes de nucleótidos) que modifican los 20

aminoácidos; el código llega a contencr algunos millones de unida- des. Esto da 20’ °o\* \*°° posibilidades. imagínese que el espiritu laplaciano tuviera que hallar el valor funcional de cada combinación: habría que hacer otros tantas pruebes, pero s61o {lay 10•° fitomos y organismos en el unlverso. Supongamos **(Repge,** 1962) que En la Tierra **hay presentes** 10°° células en un momento dctcrminado.

Imaginando además una nueva **generación** celular cada minuto, con una edad del planeta de 15 tXD millones de años (10 '• minutos) habria l0•• células en total. Pare obtener sin falta un número máximo, hagamos intervenir 10°° planetas portadores de vida. Con ello, en todo el universo no habria, de fijo, más de 10\*’ seres vivos —número **grande** pero lejos de or «inmenso». Pueden hacerse estimaciones con diferentes **supuestos (p.** ej. número **dc protelnes** o enzimas posibles), pero los resultados son a fin de cuentas los

Por otra parte, segiin Hart (1959) la invención humana pimle ser concebida como nuevas combinaciones de elementos previamente existentes. De ser asl, la oportunidad de nuerai invenciones aumenta- rá más o menos en función del número de posibles permutaciones y combinaciones de elementos disponible, lo cual quiere decir que su aumento será un factorial del número de elementos. **Ahora,** el ritmo de aceleración del cambio sbcial se acelera a su vez, de suerte que en muchos casos no se dar$ en el cambio cultural una aceleración logáritmica sino log-log. Hart presenta interesantes curvas qtic rpuestran **cómo** incrementos **en velocidad** humana, en **áreas de** mortandad por armas, en expectativei de vida, etc., siguen de **hecho** semcjante expresión: el ritmo de crecimiento cultural no es exponencial o de interés compuesto, sino supcraceleración según una curva *log-log. Oe* manera general, aparecerán límites

26

s los autòmatas st la iegulaciòn Tn un sistema no va dirigida contra una perturb ción o trna cantidad limitade dc ćstas, tino cøntra perturbaciones earbitrøriai», núerero indefinido de situacio- nea que no pudieran haber aido cprevistes»; esto sucede mucho en la regulación cmbrioaaris (p. ej. los experimentos dc Driesch) y ncuml (jx ej. los txperimentos dt Lashley). Aqul la regulación results de la*“iai*er*a*cs*iba* entre muchos coinponentes (cf. 1s diæusión de Jefrtes, 1951, pp. 32a). Eito, como recommiG el propio von Neumann, ee diña vinculado t læ tendcociai «antorrestauradoram dø los sistemas organlsmicos, m contraite con Ice t uológicos; ezpresado en tërminos mäs tnodørooa, vlnculedo a en naturaleza de &itmas abiwtos, no pievüta ni aun en el m‹xklo abstracto de autöinsta que es la máquina de Turing.

Resulu. pum, que vitelistas eomo Drietch subrayaron haoe muchs lv concepciön aœaninste, inclusive toioada en In forma rnodcma y genemlizada de un aut6mata de Turlng, se deiplo- ma a fuerza de regulaciooee despućs dc çerturbaciones «arbitrerias», y algo perećido aconteee ouando el caso requiem un número de pasos. «inmenso» eat el eentido indimdo. Ay problemas de realimbilidad, aun aparte d« laa paradojas inherentes a los conjvnios

Las consideraciooes aateriozss iacuœbm ea paztiøutBr a «a-co•- ccpto.o coœplejo d¢ coocsptœ que œ dc iadubłtablc ùaportaocin paca la hode geaerel de los sisteaæs: J do ardent . Hay ea dia «wœozn el uaivmso coæo uoa cemcada j¢cægula, de las țær’tzculas cłcmcntalæ a los oMkos atóroiooa, ùtomoa, æołé¢«das, œzapuœtœ de æolćcuta cozaptçjs, beta Is pkyadø d¢ œtructuzas

F Inn cćluløs (Weiac, l962b), luego cálulas org••iamoi j, mái allá, orgenimciones aupraindividuales. Un esqticma strnctivo (aunqim to cl Minis) del ordm jerärquico m debe a Bouldin¢ (cuadio 1.2.). Una jerarqute parocida cuigø tanto en eomo æ •fuo- ciones». En ùkiœa instancia, ætfuctura (pfden de p^r!e ) F función (orden de proceeos) pudieran ær ia æimlaimn code: en el muodo flsico la msteria m diiuelvø en un juego dc energlas,



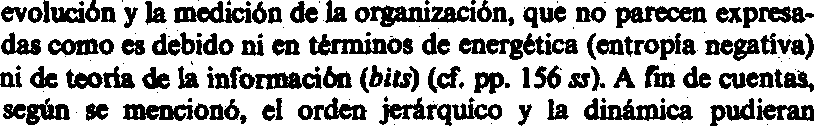
aobm todo del lmbito que hay entre ttomos 7 mo u a\* fr stima eg In mœrpflsicø), el cual evidentem nO m. u8n tnjada dc un esp tm macho más amplio. Los 1Ty& y f d^ °W -

27

ción 4e conocen insufwieniemeute en los domini‹n subatóaiico y supermokcular. Hay accesos tanto •l mundo subetómico (ílsica de las altes energías) como al supermolmular (fbicu de los comp tos de gran&s moltculai), pero está claro quo esto no es más que el principio. Resalta, por un lado, e• la presente confusión de partlculas elemcntale\*; por otro, en la actual carenciadn compren-

en la ausencia de una «gramática» del c6digo g¢ t oo {cf. p. l59J.

un pilar de 1s tmria general de los sistemes. Es posible anunciar principios de orden jertrquico en lengunJe vwbal (Kmtlu, 1967; en preasa); hsy idear semimnte itti i (Simon, 19fiS) conectedai con la teorla de he matrkes, y foriuulaciones en túrminoi de lògica matemàtica oodgei, 1930-31). En la teorln de hi grúficai el rden jerárquico m expresado por el «tibob› y dt este manera llegan a ser cindy aspectos mhcionales de jerarqutes. Pero el probIea\a es asocbo azãs aosplio y koado: 1s cu¢stióa del ordeo **jerArqtúoo aaté totitoszoeotc** tigadA e taa de \a diI'crenciaciózs, la



cer lo mismo, como expuao Koestíer tan kim en sii slmil de aThe Tres and the Candle».

Hay, de este modo, una eerie dv modelos de siztemaa, mái o mcaos ad¢lazstadoa y coaplJcadoc AJguaos coaneptos, zaodalos

y púacipios de la tooria geoetal de !°• \* °

‹»r•ctcrtaicas d• eictemas definidas por tai teorias de loc conjuntos *y W* grà*Y*ic e, *etc.—’mli* aplicables e grandes **rasgou** a sistemas materielec, psicológicos y smiocultutale•; otroa, como el de sistema abierto deí"inido por el inteicambio de etetcria, ri restringem a ciertos cubc La prãctica dcl anúlins aplicado de sistemas muee- tra que habrâ que aplicar diwrsos modelos, de ncverdo con la nate del caso y con critetioc operacional