



HAL
open science

Mathesis universalis e inteligibilidad en Descartes

Michel Paty

► **To cite this version:**

Michel Paty. Mathesis universalis e inteligibilidad en Descartes. Memorias del Seminario en Conmemoracion de los Anos del Nacimiento de René Descartes., 1997, Santafé de Bogota, Colombia. pp.135-170. <halshs-00004286>

HAL Id: halshs-00004286

<https://shs.hal.science/halshs-00004286v1>

Submitted on 27 Jul 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

© Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Memorias del Seminario en Conmemoración de los 400 Años del Nacimiento de René Descartes. Santafé de Bogotá: 1997, págs. 135-170. ISBN 958-9205-26-7

MATHESIS UNIVERSALIS E INTELIGIBILIDAD EN DESCARTES

Michel Paty

Équipe REHSEIS (UPR 318), CNRS, Université Paris7-Denis Diderot, Francia

Resumen. El problema de la inteligibilidad, corazón de la filosofía de Descartes, surge por primera vez en las *Reglas para la dirección del espíritu*, escritas nueve años antes que el *Discurso del Método*. Las *Reglas* se presentan como el primer movimiento de su pensamiento profundo sobre las matemáticas y sobre la cuestión de la certeza del conocimiento con relación a la subjetividad. La *mathesis universalis* resume, por así decirlo, su filosofía del conocimiento en lo que ella tiene de esencial.

1. Introducción. El tema fundamental de la filosofía de Descartes es el de la inteligibilidad, es decir el de la adquisición de un conocimiento verdadero y la posibilidad de asegurar la verdad de ese conocimiento. Los dos están estrechamente relacionados, y la afirmación de Descartes de la búsqueda de la verdad es inseparablemente ésta misma búsqueda - concerniente al mundo y concerniente al hombre- y el pensamiento reflexivo sobre ella. Toda la obra de Descartes puede ser vista como un ensayo de profundización y de sistematización de esta idea fundadora, de la cual tuvo la intuición o la "revelación" desde los primeros momentos de su aventura intelectual, cuando decidió convertirse al ejercicio del pensamiento y consagrar su existencia a la búsqueda de la verdad.

El "poder de juzgar bien", es decir la razón, que "es naturalmente igual en todos los hombres", es el único criterio al cual deben someterse los conocimientos. El *Discurso del método* (1737), el cual da acceso a esta afirmación, y la *Geometría* que la acompaña, con la *Dióptrica* y los *Meteoros*, a título de aplicaciones del método, constituyen la primera ejecución formalizada y suficientemente acabada de su doctrina -por lo menos después de la redacción, que había interrumpido, del *Mundo*. Pero es en las *Reglas para la dirección del espíritu*, redactadas nueve años antes que uno encuentra el primer brote y por poco el primer movimiento del pensamiento profundo de Descartes sobre las matemáticas, sobre el conocimiento del mundo, y sobre la cuestión de la certeza del conocimiento con relación a la subjetividad.

De ese primer movimiento, la filosofía de Descartes guardaría el impulso fundamental y la dirección a través de sus modificaciones posteriores y su sistematización en el *Discurso*, luego en las *Meditaciones metafísicas* y en los *Principios de la filosofía*. El seguirlo le

permite a uno, aún más que el aspecto consumado de la obra considerada en su totalidad, situarse de entrada según el eje central de su pensamiento y de su proyecto y captar el carácter innovador de sus intuiciones que le confieren todo el sentido al proyecto. La orientación de los desarrollos ulteriores de la obra de Descartes se deja ver desde sus primeros trabajos, en lo que concierne tanto las matemáticas y la física como la filosofía y la metafísica.

Si queremos comprender lo que hace tan novedoso el pensamiento de Descartes en la ciencia y en la filosofía de su tiempo, es necesario ir directamente a lo esencial, que la riqueza misma de sus desarrollos contribuye a esconder, sin contar los cuatro siglos de interpretaciones que ha tenido, ciertamente, en cada época su utilidad, y que muestran entre otras la fecundidad y la vitalidad de ese pensamiento en el curso del tiempo. Por eso es útil preguntarse cómo ese pensamiento surgió en su novedad -cómo nació, vivo, de un ser viviente, de un individuo, René Descartes.

Con la *mathesis universalis* tal cual la expone en las *Regulae*, Descartes no supone tanto las certidumbres matemáticas o las de la ciencia como la aptitud del espíritu a hacer "juicios sólidos y verdaderos sobre todo lo que se le presenta", y trata de fundar la inteligibilidad de la forma más general. Las matemáticas no son tomadas como ejemplares en lo que concierne el acceso a la verdad sino en un sentido particular: el de que aclaran lo que puede entenderse por evidencia y por certitud. En ese sentido, la *mathesis universalis* permite concebir que no hay conocimiento y ciencia sino por la subjetividad, lugar propio de la inteligibilidad. Cada espíritu funda en él mismo su comprensión y sus juicios, y el problema es de saber lo que hace que una subjetividad -es decir toda subjetividad- pueda adquirir una certeza, y, por ende el conocimiento. La lección es tanto para la ciencia como para la filosofía.

Se pueden retomar en seguida, con esa guía de lectura, los enunciados del método y de sus aplicaciones a las diferentes ciencias. Descartes no realiza verdaderamente su proyecto de fundar una ciencia cierta sino con la geometría. Si de hecho él fracasa por el resto y primero que todo en la física, algo debió quedar sin embargo que marcó durablemente las ciencias, y que nosotros trataremos de circunscribir. Su idea inspiradora alcanza pleno desarrollo en su filosofía, especialmente en sus *Meditaciones*, con el retorno al ego cogito como primera evidencia, susceptible de dar al conocimiento un fundamento seguro, inclusive absoluto: Edmond Husserl verá en él la inauguración de "un nuevo tipo de filosofía", en el cual el "objetivismo ingenuo" se encuentra reemplazado por el "subjetivismo transcendental". Ello marcará toda la historia ulterior de la filosofía.

Es entonces ese primer movimiento del pensamiento cartesiano lo que evocaremos a continuación, partiendo de la experiencia singular en la cual se enraíza y de la cual se alimenta. El camino seguido por el pensamiento de Descartes es el de una verdadera búsqueda, centrada en su proyecto de inteligibilidad y de *mathesis universalis*, que se desarrolla en varias dimensiones: abarcan sus ejercicios y sus descubrimientos sobre la construcción de curvas, la solución de ecuaciones y los fundamentos de la geometría, sus consideraciones sobre las leyes del movimiento y la geometrización de la física, así como sus concepciones y sus observaciones sobre la fisiología del hombre. En esas direcciones diversas de la ciencia, su filosofía, abriéndose camino, verificaba su validez planteando ella misma sus propios pro-

blemas los cuales contribuyeron a determinar la forma definitiva de su obra a partir del *Discurso*. La garantía de la verdad de esos conocimientos -y de la de las respuestas a esas preguntas -, se mantiene bajo la influencia de la evidencia primera, puesta en relación con la posibilidad de pensarlas dentro de la luz instantánea de la comprensión, primera información percibida intuitivamente de la cual se trata en seguida de asegurar los fundamentos.

2. Las dimensiones de la búsqueda de Descartes. El pensamiento de Descartes se da como ejemplo viviente del vínculo constitutivo entre el conocimiento, en su vocación por lo universal - accesible a todos por la razón -, y la subjetividad, el cual se manifiesta en la experiencia singular. Lo que fue él como persona, con su propia experiencia de la vida, que fue sobretodo la de una búsqueda sobre el camino de la verdad, importa evidentemente en la elaboración y en el contenido de su pensamiento. Descartes mismo nos invita a considerar esto en el *Discurso del Método*. No para imponernos la singularidad de su caso sino para hacernos ver el universal más allá de todas las contingencias particulares, el carácter y las experiencias de los individuos, de la misma manera que uno encuentra, más allá de la diversidad de los seres y de los pensamientos, la igualdad universal de la razón en cada ser humano -afirmada desde la primera frase del *Discurso*.

Antes de evocar algunos elementos significativos de su vida como experiencia es útil señalar dos aspectos de Descartes propios a su situación de pensador, que confieren a la singularidad de esta experiencia el valor emblemático que se le ha dado desde entonces a la aparición de la modernidad.

En primer lugar es la unión que se da en él, del matemático y del filósofo -Descartes fue completamente y de forma eminente, lo uno y lo otro -, que reanudaba el vínculo instaurado antiguamente por Platón y roto después ya que, durante el largo período que va de Aristóteles a los escolásticos, fue la lógica y no las matemáticas, la que sirvió de referencia a la noción de verdad. El retorno filosófico de las matemáticas (fuera de todo neoplatonismo en lo que concierne a Descartes) fue en primer lugar tributario de la experiencia de la evidencia matemática, vivida a través del ejercicio de la razón matemática cuyo alcance podía medirse por los resultados notables que renovaban una parte importante de esta ciencia e inclusive sus fundamentos. La filosofía de Descartes lleva la marca indeleble de su "decisión filosófica" de la *mathesis universalis* como forma de conocimiento cierto, afirmada en el momento en que comenzaba la elaboración de su obra en análisis, en álgebra y en geometría. El retorno de las matemáticas al primer rango del conocimiento se debió también a la coyuntura de la época que las veía venidas del cielo, de los objetos ideales y permitiendo la penetración de los fenómenos de la naturaleza como Galileo lo había mostrado haciéndolas pasar de la astronomía a los movimientos de los cuerpos físicos terrestres.

En segundo lugar, la orientación de las innovaciones introducidas por Descartes, en su obra científica y en su filosofía, operaba una ruptura no solo con la escolástica, cuya retórica y erudición le parecían vacías, sino también con una buena parte del Renacimiento y especialmente con su glorificación del saber libresco y de la autoridad de la antigüedad. Henri Gouhier caracterizó como "anti-Renacimiento", en el siglo XVII, el movimiento que representa de un lado la Reforma religiosa y, del otro, las nuevas concepciones científicas de Galileo y Descartes, desarrolladas alrededor de una idea específica de la naturaleza. Descartes representaría así la conciencia viva y lúcida de esta reacción, su ruptura siendo caracte-

rizada por una filosofía de la naturaleza que sería la metafísica de la física matemática ", como por "una filosofía del espíritu cuyo método excluye la erudición" .

Un elemento decisivo de esta oposición, que toma una fuerza y una significación particular en Descartes a causa de su afirmación de la subjetividad como lugar propio del conocimiento, parece ser el que comprende de un lado (con el pensamiento del Renacimiento) la unión orgánica -y, de hecho, antropocéntrica - del hombre y la naturaleza y, del otro (especialmente con Galileo, Descartes, y también con Pascal) la naturaleza autónoma considerada por un ser apartado de ella, libre y soberano -el hombre y su pensamiento. No podemos por lo tanto subestimar la continuidad que une el humanismo y la idea de humanidad (especialmente a través de Montaigne) a la noción cartesiana de razón universal.

El símbolo de Descartes es con frecuencia utilizado para evocar la soledad del pensador. Sin duda él buscaba la tranquilidad para proseguir sus reflexiones y sus trabajos, pero eso no le impedía apreciar la compañía de sus semejantes, sin hacer distinción ninguna : ¿por qué razón aprendió varias lenguas y recorrió Europa, eso después de haberse alistado en armada, sino fue por conocer la vida, el mundo y los hombres en la diversidad de sus costumbres y de sus comportamientos ? De allí él obtenía enseñanzas útiles para manejar su vida. Le gustaba el comercio con sus contemporáneos, así como le había gustado en los años del colegio, -y seguramente después también, a pesar de la desconfianza afirmada que tenía por los libros - el encuentro con los autores del pasado, y sostuvo amistades profundas -con Isaac Beeckman, con el Padre Marin Mersenne, con Constantin Huygens y otros más como la joven princesa Elisabeth de Bohemia. No se le negaba a nadie que pidiera que le enseñara, fuese éste un campesino, un criado, o un rey (se sabe que él decidió ir a Estocolmo a la demanda de la reina Cristina de Suecia), ni se negaba tampoco a debatir las ideas. En el tiempo considerable que pasó confrontando objeciones (especialmente las que se oponían a su metafísica) y en las controversias (con los doctores de la Universidad de Utrecht en particular) puede verse otro índice de un pensamiento preocupado por el diálogo.

Descartes, ¿un solitario? Toda su vida muestra lo contrario : cierto durante ésta llevó a cabo toda una búsqueda personal pero tuvo también encuentros, debates y confrontaciones de ideas con la condición de no ceder nada de su libertad de pensar, de no rendirse a ninguna autoridad que no fuese la de su propio juicio - exceptuando, en forma reivindicada, las cuestiones de fe.

El encuentro en Breda, en Brabante, en el otoño de 1618, con Isaac Beeckman, fue, como Descartes mismo lo confesó, unos de los primeros hitos decisivos de su vida intelectual. Sus discusiones estimularon su interés por las matemáticas, hacia las cuales ya se había sentido atraído cuando hacía sus estudios en el colegio de "La Flèche", con la enseñanza de sus maestros jesuitas y probablemente con la lectura de el Algebra de Christoforo Clavius ("Me gustaban sobretodo las matemáticas, a causa de la certeza y de la evidencia de sus razones"). Beeckman (que tal vez tenía idea de las investigaciones de Galileo, inéditas aún) lo puso al corriente de la posibilidad de tratar matemáticamente los problemas de la física.

En las fiestas de fin de año, Descartes le ofreció a su amigo su primer tratado, el *Compendium Musicae* (Compendio de Música), y éste le dio el cuaderno de pergamino en el cual

escribió sus primeras ideas de matemáticas y física, y sus reflexiones personales. Ese registro, encontrado entre los papeles de Descartes cuando éste murió en Estocolmo, el 11 de febrero de 1650, mentaba en el reverso de la portada : "Anno 1619, Kalendis Januarii". Guardado por Clerselier, ejecutor testamentario de Descartes (y cuñado de Chanut, amigo de este último y embajador de Francia en Suecia cuando Descartes se encontraba allí), el registro se extravió después de haber sido consultado y copiado en parte por Leibniz en París en 1675-1676, y utilizado por Baillet en su biografía de Descartes. Lo que sabemos de las primeras reflexiones del joven Descartes, proviene de esos fragmentos, de su correspondencia, y de las Reglas para la dirección del espíritu, que han sido objeto primero de publicaciones parciales (esencialmente en la segunda edición de la Lógica de Port Royal), luego completa, en 1701.

Durante el invierno de 1618-1619, Descartes redactó una memoria sobre la caída de los cuerpos, otra sobre la presión de los líquidos y la memoria ya mencionada sobre la música. El 20 de marzo de 1619, tuvo tres días de inspiración intensa, durante los cuales descubrió cuatro demostraciones relevantes, la una concerniente a la división de un ángulo en cuantas partes uno quiera, y las otras a la solución de tres géneros de ecuaciones cúbicas. Sus notas dirigidas a Beeckman en este periodo indican un trabajo completo y nuevo sobre la representación geométrica de los movimientos, como parte de su "Algebra geométrica" que planeaba escribir, -y también una mecánica - y sus cartas hablan del éxito que tuvo ese trabajo. El menciona su proyecto de fundar "una nueva ciencia, que permite en general resolver todas las cuestiones que uno se proponga en cualquier género de cantidad, continua o discontinua, cada una según su naturaleza." Volveremos luego a esos problemas de geometría y de álgebra, que testimonian de la creatividad del joven Descartes en los primeros momentos de su actividad intelectual. Poco tiempo después, en abril, se va de Holanda, viaja a Dinamarca y a Alemania y en la víspera de la "Guerra de los Treinta años" se enlista en la armada de Maximiliano de Baviera.

En noviembre del mismo año, en la noche del 10 al 11, Descartes tuvo tres sueños, relacionados con las reflexiones que ocupaban febrilmente su mente y que siguieron después de las "iluminaciones" correspondientes a su decisión de consagrarse a la búsqueda de la verdad - que operó en él una verdadera conversión. En la interpretación que él dio, esos sueños fueron como una invitación para que cambiara de vida. Le pareció que el tercero y último, con la inscripción que se leía en un diccionario abierto, "Quod vitae sectabor iter", ("¿Qué camino seguiré yo en la vida?"), primer verso de un poema de Auson, le daba sentido a los dos primeros y que eran como un consejo sobre el camino que debía seguir. El diccionario indicaba la reunión de las diferentes ciencias, y una colección de poemas, la filosofía y la sabiduría juntas (dándole una gran importancia al entusiasmo y a la imaginación) Efectivamente, a partir de ese momento su vida cambia, al menos en cuanto a lo que cultivaría en él en adelante, poseído por una vocación que mantuvo secreta a lo largo de sus viajes en la Europa de la época (renunció rápidamente a la vida militar, pero no a los viajes). Ese es quizás el significado real de ese "larvatus prodeo", "avanzó enmascarado", que ha suscitado tantas interpretaciones, sin duda exageradas : al menos la propuesta por Gouhier parece simple y, en suma, natural.

El año siguiente, día por día, el diez de noviembre de 1620, Descartes vislumbra "los fundamentos de una ciencia [o más exactamente de una invención] admirable", o "maravillo-

sa", según lo que copió Leibniz de su cuaderno. Puede verse aquí, más allá de la invención matemática, la revelación de un nuevo modo de razonamiento, tal cual habían de desarrollarlo las *Regulæ*, el de la *mathesis*, capaz de asegurar la verdad de sus enunciados. Descartes consagró los años siguientes a sus viajes y a sus ejercicios matemáticos y metódicos de donde habría de surgir su obra escrita, elaborada en varias etapas. El no se apresuraba a publicarlos, celoso de mantener sus dos bienes "la libertad y el ocio" que una celebridad prematura pondrían en peligro, y prefiriendo según sus propios términos "aprender lo que me es necesario para gobernar mi vida" y publicar "lo poco que he aprendido"

Fue probablemente durante el invierno de 1627-1628, en Bretaña donde se había retirado para poder trabajar en paz, que Descartes compuso los *Regulæ*, que quedaron sin terminar. Las veintiuna reglas que redactó preparan la vía de las matemáticas aunque al principio tienen una intención más amplia puesto que se dirigen al "espíritu", el "ingenium", definido en la Regla 12 por las facultades que permiten conocer, es decir el entendimiento, la imaginación, los sentidos y la memoria. La fuerza de la *mathesis universalis* que es invocada, no se limita al campo de las ciencias matemáticas, a la aritmética y a la geometría primero, tal cual eran concebidas entonces, ni a las aplicaciones de las matemáticas (o "matemáticas mixtas"). Lo que Descartes afirma de entrada con sus *Regulæ* es la posibilidad de orientar esa fuerza no solamente hacia las matemáticas o las ciencias en particular, sino, en forma más general, hacia la formación o la adquisición, por el espíritu, de la aptitud para hacer "juicios sólidos y verdaderos sobre todo lo que se le presenta" (Regla 1).

Es cierto que fue primero que todo a las matemáticas que él dio una extensión universal dentro de sus métodos unificadores y dentro de sus operaciones, con la invención de la geometría algebraica y del análisis. Pero la *mathesis universalis* entrañaba una dimensión más general, revelando las facultades de la inteligencia misma. Descartes la concebía como adaptada al conocimiento del mundo real (físico), por medio de la aplicación de las matemáticas a los diferentes campos de la física. Pero la veía igualmente como la indicación de un nuevo modo de razonamiento -de racionamiento justo - "ciencia admirable" en la medida en que podía garantizar la certeza de sus proposiciones.

En ese sentido, es posible ver en las *Regulæ* el resultado de una transformación de las preocupaciones de Descartes que, del "Algebra geométrica" a finales de 1618, pasan, a mediados de 1619, hacia "una ciencia totalmente nueva" (que contiene una geometría capaz de resolver todos los problemas de la construcción de todas las curvas [geométricas] sin importar el grado), primeras etapas de eso que se revela como una "ciencia admirable" percibida intuitivamente desde finales de 1619, afirmada un año después y en parte desarrollada luego, capaz de tratar no solamente las matemáticas y la física, sino también la metafísica, con la misma certitud..

Parece, de hecho, que, desde sus primeras ideas de juventud, las matemáticas no eran realmente ni el verdadero objetivo ni el marco de su búsqueda. El mismo lo indicaría en el Discurso del método : "Lo que más me agradaba de este método, era que con ella yo estaba seguro de utilizar mi razón en todo" y "no habiéndola sometido a ninguna disciplina en particular me prometía aplicarla tan útilmente à las dificultades de las otras ciencias como lo había hecho con las del Algebra". Como lo resalta Jules Vuillemin en *Physique et métaphysique chez Descartes*, "La invención de la geometría analítica parece secundaria con

relación a la invención de un método universal de pensamiento", el implicado por el análisis de las proporciones.

La conciencia del alcance de este método fundado en la *mathesis universalis* lo conduciría a una transformación de su proyecto, que le hizo abandonar la redacción de las *Regulae* y organizar sus investigaciones de otra manera, y más directamente orientadas hacia la metafísica : se trataba de establecer los fundamentos de la certitud lo cual habría de llevar al "Cogito ergo sum". ¿No expresó Descartes en público, en noviembre de 1628, unos meses después de la redacción de las *Regulae*, la idea de que es posible establecer en la filosofía principios más claros y más ciertos por los cuales se daría razón de todos los efectos de la naturaleza? Habló igualmente con el cardenal de Bérulle, que lo empujó a desarrollar las ideas, de su proyecto de mostrar que el hombre no podía tener la certitud sin Dios. Esos propósitos anuncian, más allá de las *Regulae* para la dirección del espíritu, el *Discurso del método*, las *Meditaciones metafísicas* y los *Principios de la filosofía* y la sistematización de las intuiciones filosóficas de Descartes.

3. En el centro del proyecto cartesiano : la inteligibilidad. El sentido de la *mathesis universalis*. Consideremos las *Regulae*, primer texto importante que enuncia la intención filosófica de Descartes, y de las cuales se ha dicho que "constituyen la carta de toda su obra" Afirmando desde la Regla 1, la aptitud del espíritu para emitir juicios verdaderos, él postula la unidad del espíritu y del conocimiento en cada individuo -y en todos los individuos - : "Puesto que, las ciencias no son otra cosa que la sabiduría humana, la cual es única y siempre la misma, cualquiera que sean las diferencias entre los sujetos a los cuales se la aplica, y que no quita las distinciones como tampoco lo hace la luz del sol con la variedad de las cosas que ilumina, no hay necesidad de imponerle al espíritu ningún límite". Se trata de acrecentar la "sabiduría universal", "la luz natural de la razón" que ilumina el mundo y lo vuelve inteligible. La unidad de las ciencias hace que ellas tengan una dependencia mutua, de tal manera que es más fácil aprenderlas todas al tiempo que cada una en forma separada, y que el conocimiento de una verdad ayuda a conocer las otras.

Tenemos aquí la dimensión del proyecto de Descartes en toda su amplitud : un proyecto que tiene por objeto la totalidad del conocimiento (el conocimiento seguro o "cierto", algo así como lo que llamamos hoy en día "conocimiento científico", pero en un sentido más amplio) matemático, físico, filosófico, metafísico, en la medida en que este conocimiento es nuestro, correspondiente a la aptitud del espíritu, a la posibilidad de ser iluminados por la razón en lo que se refiere al mundo y al hombre.

El único conocimiento que importa es el que tiene el sello de la certeza y de la evidencia. Eso es lo que la Regla 2 afirma : "Tenemos que ocuparnos sólo de aquellos objetos que la mente es capaz de conocer en forma cierta e indudable", y no debe uno preocuparse de los "conocimientos que solo son probables", y que son sólo cuestión de opinión. Estrictamente hablando, de todas las ciencias conocidas, solo la Aritmética y la Geometría responden a esta Regla : tal es la particularidad ejemplar de estas ciencias, y es necesario encontrar por qué eso es así, no para considerarlas a ellas solamente sino para comprender cuales son las condiciones de un conocimiento seguro, y poder utilizarlas en otras orientaciones del conocimiento.

Esta certeza se debe a la naturaleza del objeto de la Aritmética y de la Geometría, concierne a los dos medios de conocimiento de las cosas, que son la experiencia y la razón, indica Descartes en el comentario de la Regla 2. La experiencia se refiere a las cosas exteriores, así como al conocimiento reflexivo que el entendimiento tiene de él mismo (según una estipulación de la Regla 12) : eso es, en la definición amplia que no se limita a lo que nosotros llamamos experimentación, tanto la experiencia de vida como la experiencia del pensamiento y aún la reflexión sobre la adquisición del conocimiento. El error viene de una mala comprensión de la experiencia. En cuanto a la deducción, es una "operación pura" del entendimiento, que no puede errar. Ahora bien, la Aritmética y la Geometría son, de las ciencias conocidas, "las únicas que tratan de un objeto tan puro y tan simple que no tienen que hacer absolutamente ninguna suposición que la experiencia pueda poner en duda y que estén compuestas enteramente de consecuencias deducibles racionalmente". De allí su carácter ejemplar que establece un ideal de la verdad.

La Regla 3 trata de las funciones del espíritu (de los "actos de nuestro entendimiento") concierne al acceso a la verdad, y que son la intuición, que acompaña la noción de claridad y de evidencia, y la deducción, que acompaña la de la certeza: es necesario buscar "lo que podemos ver por intuición con claridad y evidencia, o lo que podemos deducir con certeza". Es así "como se adquiere la ciencia": esos actos del entendimiento, la deducción y la intuición, nos permiten llegar al conocimiento de las cosas sin miedo alguno de equivocarnos. Se nota la oposición, o al menos la distinción subyacente a la de las dos funciones, entre algo que es del orden de lo inmediato, de "eso que se ve" (la intuición y la evidencia), y lo que tiene que ver con una serie diferida - haciendo de ese modo intervenir la memoria - de razonamientos seguros (la deducción y la certeza).

La intuición, en las *Regulae*, esta concebida como enteramente intelectual, en un sentido que Descartes reivindica como nuevo - con el derecho de usarlo así - según la definición dada en el comentario de la Regla 3: " por intuición, yo entiendo [descartando los sentidos o la imaginación], el concepto que la inteligencia [*mentis*] pura y atenta forma con tanta facilidad y distinción que no le queda absolutamente ninguna duda sobre lo que comprendemos (...), concepto que nace de la luz única de la razón y de la cual la certeza es más grande, a causa de su gran simplicidad, que la de la deducción misma". " Así, prosigue él, cada uno puede ver por intuición intelectual que existe, que piensa, que un triángulo esta limitado por tres líneas solamente, un cuerpo esférico por una sola superficie, etc."

A pesar de que se sepa "la mayor parte de las cosas de una forma cierta sin que sean evidentes", la certeza de la verdad de un conocimiento reside de hecho, para Descartes, en la posibilidad de llevarla (por una cadena continua de deducciones) a lo que se ve con evidencia por la intuición. La "intuición intelectual" corresponde a una "evidencia actual" que se da desde el instante presente, por así decirlo como el fulgor la instantáneo de la luz, mientras que la deducción "obtiene en cierta manera su certeza de la memoria". Y las cosas, en particular "las proposiciones que son la consecuencia inmediata de los primeros principios", pueden ser conocidas "tanto por intuición, tanto por deducción", mientras que los primeros principios "son conocidos solamente por intuición. En cuanto a la deducción, Descartes la ve como "toda conclusión necesaria sacada de otras cosas conocidas con certeza".

La intuición es una facultad que se adquiere a través del ejercicio: es necesario, tal cual esta prescrito en la Regla 9, tomar "la costumbre de ver la verdad por intuición de una manera distinta y neta". Esta concepción de una intuición intelectual (en la cual el entendimiento, "único (...) capaz de percibir la verdad" se ayuda de las otras facultades del espíritu, que son la imaginación, los sentidos y la memoria) sería modificada más tarde para tener en cuenta otros factores, en especial efectos debidos a la voluntad. Sería interesante analizar con más detalle la concepción cartesiana de la intuición, y confrontarla con otras, anteriores como la de Guillermo de Ockham por ejemplo, o posteriores como la de Kant.

Esas consideraciones de las tres primeras Reglas dejan ver los objetivos y la amplitud del problema del conocimiento al cual Descartes se enfrenta. Queriendo asegurar la certeza a partir de la iluminación y de la evidencia, él enuncia que el fundamento del conocimiento reside en el sujeto que piensa, fuera de toda autoridad externa. Descartes propondría más tarde sustentarlo sobre la verdad divina.

Una conciencia semejante del arraigamiento de los juicios verdaderos en la razón individual hizo que, un tiempo más tarde, Pascal denunciara en el Prefacio de su *Tratado del vacío*, el argumento de la autoridad haciendo prevalecer las concepciones que se tenían en la antigüedad sobre materias que incumben los sentidos o el raciocinio. En esas cuestiones, "La autoridad es inútil", escribe él, "y solo la razón es oportuna para conocer". Con Descartes y Pascal, sin embargo, se tienen dos soluciones diferentes al establecimiento del raciocinio, considerado en toda su fuerza y autonomía. Uno (Descartes) quiere erigir el conocimiento sobre la certeza de que la razón fundamenta absolutamente, mientras que el otro (Pascal) considera la finitud de la razón y su incapacidad de erigir la certeza yendo hasta lo último de sus interrogaciones sobre nuestros conocimientos y las definiciones que los sustentan. Para Pascal nuestros conocimientos son sólo probables y se encuentran suspendidos entre los dos extremos de las regresiones infinitas de preguntas posibles. La claridad de nuestros razonamientos se da siempre sobre un fondo de oscuridad que nunca nada podrá disipar completamente. Pero el establecimiento del conocimiento por medio de la razón no deja de ser nuestro y nadie puede substituirnos en ello.

Consideremos la Regla 4, donde se evoca expresamente el papel de la *mathesis universalis*. Se trata del método, "necesario para la búsqueda de la verdad", y Descartes se refiere a una disciplina que difiere de la "matemáticas corrientes", sacando al mismo tiempo sus ejemplos de estas últimas, las cuales "son más el recubrimiento que las partes". Esta disciplina, percibida intuitivamente, por así decirlo, "debe contener los primeros rudimentos de la razón humana y ampliar su acción hasta cuando haga surgir las verdades en cualquier sujeto"; "es preferible ella que cualquier otro conocimiento transmitido humanamente, dado que ella misma es la fuente de todas las otras".

Esta disciplina es la *mathesis universalis*, que él infiere de la necesidad de trascender las matemáticas, y de la cual él da, de hecho una nueva acepción, manteniendo al mismo tiempo la denominación antigua. Habiéndose preguntado por qué no solo la Aritmética, la Geometría, el Algebra, "sino también la Astronomía, la Música, la Óptica, la Mecánica, y un buen número de tantas otras, están consideradas como haciendo parte de las Matemáticas", llega a la conclusión de que es necesario "remitir a las Matemáticas todo eso en lo cual se examina el orden y la medida", sin especificar el objeto de esta medida. De ello se

deduce, concluye Descartes, que debe haber una ciencia general capaz de explicar todo cuanto pueda uno interrogarse sobre el orden y la medida sin aplicarlo a un tema especial : esta ciencia se designa no con el nombre fingido [non ascitio vocabulo], pero con el nombre antiguo y ya aceptado por el uso de Matemáticas universales, ya que encierra todo cuanto ha hecho que se les de a las otras ciencias el apelativo de partes de las Matemáticas".

Descartes indica cómo se ejerció dedicándose, por orden "a la búsqueda del conocimiento", empezando siempre con lo más simple y más fácil susceptible de dar una certeza completa, para luego solamente pasar a lo más complejo : "Es por eso que hasta el momento he cultivado esas Matemáticas universales, tanto como iba conmigo, de manera que creo poder empezar a tratar las ciencias más elevadas, sin consagrármeles prematuramente".

Vemos aquí especialmente como, para Descartes, la relación de las matemáticas con las otras ciencias no es tanto una relación de aplicación, ni de construcción de esas ciencias a partir de ellas; parece más bien que las ciencias -incluyendo las matemáticas mismas - se enraízan en torno de un tronco común, las matemáticas universales (especie de esencia de las matemáticas pero también de toda ciencia), que permite concebir cada una en su especificidad según una inteligibilidad intuitiva - deductiva. En esta perspectiva, las matemáticas, a causa de la naturaleza de sus objetos, puede servir de propedéutica para la adquisición del juicio en materia de ciencias. En cuanto al programa de Descartes, él no trata esencialmente de constituir, por ejemplo, una física, o una mecánica, a partir de las matemáticas, sino de pensar la inteligibilidad de los objetos de esas ciencias. (Inteligibilidad que conduce, es cierto en el caso de la mecánica, o de la óptica, etc., a tratarlas matemáticamente en la medida en que ellas se refieren a magnitudes, y la geometrización de la física resultante, en cuanto a ella, de la identificación de la materia y de la extensión).

A pesar de que las Matemáticas universales y el método hayan sido elaborados al mismo tiempo, en el mismo comentario de la Regla 4, estos no se confunden, si uno admite lo precedente. Si la "ciencia admirable" de la intuición inspirada de su juventud no se reduce ciertamente al método, ¿debe uno identificarla a la primera, a la *Mathesis*? Henry Gouhier rechaza esta idea, porque la idea de la *mathesis* le parece demasiado estrecha y próxima del método, mientras que Descartes se había propuesto desde su juventud - como lo habíamos indicado - un objetivo más amplio que las solas matemáticas. Parece sin embargo que la inteligibilidad, como posibilidad de conocer (verdaderamente), problema descubierto tempranamente por Descartes y que determina la dirección de su ciencia como la de su filosofía, había encontrado la solución en la *mathesis universalis* según la nueva acepción que él le daba, designando, más allá de las solas ciencias matemáticas todas las ciencias de la certeza -accesibles por medio del ejercicio del método-, a las cuales pertenecen también como él lo presentía y trataría de demostrarlo, la metafísica.

¿La *mathesis universalis* no será en realidad y simplemente el lenguaje de la razón?

4. Construcción de curvas y solución de ecuaciones. Los fundamentos de la Geometría. Volvamos a los primeros trabajos matemáticos del joven Descartes, en marzo-abril de 1619, sobre la equipartición del ángulo y la solución de ecuaciones cúbicas ayudándose de construcciones geométricas. Esas construcciones son simples en el caso de segundo grado

donde se construyen con regla y compás. Pero para las de tercer grado, estudiadas por Descartes, las construcciones son más complicadas, e inventa, al menos en su mente, compases mecánicos complejos desmultiplicando los movimientos engendrados por el de un punto sobre una recta o un círculo. Haciendo esto él descubre, la posibilidad de engendrar de esta manera curvas de grado superior -hasta el infinito.

Según Jean Itard, las ideas más importantes de Descartes sobre la *Geometría* estaban listas desde 1618. Descartes, en 1618 indicaba "la curva de los intereses compuestos", la curva logarítmica, que nadie había estudiado todavía, y la excluye también de las curvas geométricas, los dos movimientos que la engendran no pueden ajustarse el uno con el otro. Desde la primavera de 1619, él manifestó el deseo de desarrollar la nueva ciencia "capaz de resolver todas las cuestiones sobre toda clase de magnitudes, continuas o discontinuas, y de 1619 a 1622, redacta los textos matemáticos de las *Cogitationes privatae* de su registro y de su correspondencia de entonces, evocadas antes, y de las cuales se ve bien que son anteriores a aquellas en los caracteres "cossiques" (de uso corriente por los algebristas italianos a finales del siglo XVI) que él utiliza para representar la raíz de la ecuación, su cuadrado y su cubo, antes de las notaciones en x y sus potencias : Descartes no conocía todavía en esta época, las notaciones literales del álgebra de Viète. Se encuentra aquí con el problema de la equipartición del ángulo, la solución de problemas de ecuaciones cúbicas, de los cuales algunos serán retomados en su Geometría: él mencionaba 16 casos menos tres "imposibles", es decir que no admitían raíz positiva (indicados anteriormente por Omar Khayam, en el siglo XI y XII y por Jérôme Cardan -Girolamo Cardano- en su *Ars Magna* de 1545). Se encuentran también las construcciones geométricas efectuadas con ayuda del compás, que le dieron la idea de la clasificación de las curvas geométricas, y la consideración de diversos problemas, especialmente el de la catenaria, propuestos a Descartes por Beeckman.

La construcción de curvas por medio del "compás" complejo de su invención, que consiste en un conjunto de barras articuladas que transforman un movimiento rectilíneo o circular en movimientos curvos de diferentes naturalezas (aparato imaginado y diseñado pero sin duda nunca realizado en la práctica) le hicieron definir como geométricas las curvas que podían ser construidas a partir de un solo movimiento. Estaban excluidas las curvas mecánicas, es decir aquellas engendradas por movimientos de puntos independientes, circular y lineal, como la espiral de Arquímedes, la curva logarítmica y la catenaria.

Entre 1618 y 1628, Descartes logró por su propio trabajo el dominio perfecto de su instrumento analítico. No se sabe mucho cuales fueron exactamente las influencias de otros matemáticos sobre su pensamiento: él había leído a Pappus y sin duda también a Clavius. Pero él era sobretodo autodidacta en lo que concierne a las matemáticas modernas de su época, entrenándose continuamente con problemas matemáticos.

Antes de 1628, él estaba ya en posesión de la construcción de las ecuaciones sólidas (es decir de tercer grado) y supersólidas (de cuarto grado) por medio de la intersección de un círculo y de una parábola que expone a Beeckman y que retoma en el libro 3 de la Geometría. Indicaba que una ecuación de cuarto grado tiene cuatro raíces, cuyo signo estaba dado por las construcciones, y que esas raíces pueden ser a veces imaginarias. Haremos aquí un paréntesis sobre el interés de Descartes por las magnitudes imaginarias, a pesar de que él las pone fuera de las soluciones. Fue él quien llamó "imaginarios" los números que R.

Bombelli llamaba "più di meno" (es decir, $\sqrt{-1}$, y en la notación actual, debida a Leonard Euler, + i) y "meno di meno" (- $\sqrt{-1}$, - i). Descartes había hablado desde 1618 de movimientos puramente imaginarios, es decir, que podían ser concebidos pero no representados, a propósito de las curvas no geométricas llamadas hoy trascendentes). Igualmente, por el hecho de que la ecuación estaba establecida, las raíces son concebibles pero sin tener existencia real.

Los resultados sobre la inscripción de los polígonos que se encuentran en los textos reunidos bajo la rúbrica "Excerpta mathematica" (publicados en 1701) datan de principios de 1620. La composición del fragmento 6 sobre la cuadratura del círculo que da el principio del método de los isoperímetros para el cálculo de la relación de la circunferencia al diámetro data probablemente de los años 1620. Si Descartes tuvo la idea de los elementos esenciales de su *Geometría* desde finales de 1618, fue progresivamente que él inventó el método analítico. Entre 1625-1626, y en todo caso antes de 1629, él disponía de una notación algebraica -que globalmente es la actual-, transformada de aquella a la cual Viète le había dado los rudimentos, así como también de su "cálculo geométrico" donde las construcciones que corresponden a las soluciones de las ecuaciones se sitúan a la cabeza del análisis, operando un cambio decisivo con relación a Viète. El construía todos los problemas de los sólidos llevándolos a los problemas algebraicos de tercer grado por medio de la intersección de las cónicas. La geometría algebraica (o geometría analítica) de Descartes estaba fundada.

Indiquemos otro resultado poco conocido de Descartes en geometría, obtenido antes de 1628, y que llegó a nosotros gracias a la transcripción del manuscrito "De solidorum elementis", encontrado en los papeles de Descartes por Leibniz. Se trata de la relación sobre los poliedros convexos conocida como "teorema de los sólidos de Euler" entre el número S de los vértices, F , el de las caras, y el de las aristas, A : $F + S = A + 2$. La importancia de este resultado y la anterioridad de Descartes - debe hablarse del teorema de Descartes - Euler - no fueron reveladas sino en 1860.

En 1625 o 1626, independientemente de Snell, Descartes descubría por razonamiento (mientras que Snell obtenía su resultado por la experiencia), la ley del seno para la refracción de los rayos de luz, que publicó más tarde en la *Dióptrica*. El estudio de la anaclástica, es decir, de la curva sobre la cual los rayos provenientes de un punto dado son quebrados por refracción y convergen hacia un segundo punto, le permitió perfeccionar su técnica analítica. Los tres fragmentos importantes de los "Excerpta mathematica" de Descartes sobre los óvalos (curvas de cuarto grado) datan probablemente de 1629. Estos están ligados a sus investigaciones sobre la forma de los lentes (ligadas a los problemas de refracción), y serán retomados en la *Dióptrica* y en el libro 2 de la *Geometría*, sobre la teoría de los óvalos. La riqueza inventiva de Descartes se manifiesta aquí con claridad: estudia los óvalos no por las ecuaciones "cartesianas" las cuales ya dominaba, sino por las ecuaciones paramétricas. Las propiedades de los óvalos exigían un método algebraico de construcción de tangentes: la de Descartes, que se asemeja a las de Roberval y de Fermat aunque concebida independientemente, prefiguraba y preparaba, sobre las trazas de Arquímedes y con los anteriores el cálculo diferencial.

Fue en Leyde, en 1631, que Descartes supo, por medio de el orientalista J. Cool, o Golius, que acababa de ser nombrado profesor en la Universidad, y que traía de oriente manuscritos árabes, del problema de Pappus relativo a los segmentos de rectas ligados por relaciones de proporciones. Descartes lo resolvió en algunas semanas, por medio de su geometría algebraica, dando allí uno de los primeros ejemplos de solución puramente analítica a un problema de geometría.

Su solución, que se encuentra en los libros 1 y 2 de la Geometría, le sugirió una clasificación de los problemas y de las curvas geométricas, en la línea del programa que había indicado desde 1619, pero modificado en forma de una verdadera teoría de las ecuaciones algebraicas, de alcance más general: la ecuación de las curvas (geométricas) es obtenida en el lugar de los puntos definidos por relaciones algebraicas (de las proporciones), y todos esos puntos pueden ser construidos "por medio de la solución de un número finito de problemas de grado inferior al de la curva" (las cónicas por medio de la regla y el compás, las curvas de tercero y cuarto grado por medio de la intersección de un círculo y de una parábola, etc.). Todavía imperfecta, la clasificación obtenida le daba la diferencia profunda entre las curvas geométricas (que llamamos hoy algebraicas) y las otras (mecánicas o, según la denominación actual transcendentales). Las curvas mecánicas no pueden dar lugar a proporciones y resisten a la construcción sistemática de todos los puntos : solo pueden construirse puntos particulares.

El encuentro de Descartes con los textos matemáticos de la tradición de la lengua árabe sugiere una comparación entre las realizaciones de los programas respectivos de Descartes y de al-Hayyam (Omar Khayam): la conclusión es por un lado que hay continuidad de la tradición y por otro que hay una novedad radical.

La continuidad concierne la construcción de los problemas sólidos, que al-Hayyam, llevaba a los problemas algebraicos de tercer grado por medio de la intersección de las cónicas, así como la cuestión de la existencia de puntos, con el paso de un punto a otro por un movimiento continuo, tratado por al-Hayyam y al-Tusi, inclusive con las tentativas de tratamientos infinitesimales. Aunque Descartes no la conocía todavía, la geometría algebraica propiamente dicha había existido antes, desde el siglo XI, desarrollada a lo largo de la tradición árabe . Esta era un álgebra sin la escritura simbólica, pero cuya función de generalización de las operaciones de la aritmética era totalmente operatoria, y en particular en la aplicación a los problemas de geometría. Se encuentran entonces en Descartes dos tradiciones matemáticas, la del estudio de las curvas algebraicas engendradas por un movimiento continuo, y la de los problemas de los procedimientos infinitos para la construcción de las tangentes, tradiciones venidas de los matemáticos griegos, transmitidas y renovadas por la edad Media árabe.

En cuanto a la novedad radical de su geometría, ella reside en su distinción propiamente original entre las curvas geométricas o algebraicas y las curvas mecánicas : esta distinción, que resulta de su clasificación de las curvas y de los tipos de ecuaciones, permite establecer, de hecho, la diferencia entre las dos tradiciones mencionadas. Pero, sobretodo, esta idea fue fecunda y constituyó una revolución "matemática" -rompía, en particular, con Clavius- que conocería su desenlace con la creación, por Newton y Leibniz, que la retomarían, "de un nuevo algoritmo sobrepasando a Descartes e inspirándose al mismo tiempo de él", el

del cálculo diferencial e integral. De hecho, ella poseía en germen ese nuevo cálculo : fue solamente el análisis diferencial quien permitiría la formulación de las curvas mecánicas. Gauss habría de escribir, en 1813, que la fuente de las funciones trascendentes es el cálculo de los procesos infinitos.

Jules Vuilleman muestra, en *Physique et métaphysique chez Descartes*, el papel de la metafísica con respecto a la preocupación de alargar la *mathesis universalis* a los problemas que de hecho son los del análisis infinitesimal, y realza en ese sentido la novedad de temas como la función logarítmica y la espiral. Descartes consideró efectivamente varios ejemplos de curvas mecánicas (trascendentes), que trata en su correspondencia. Pero lo que lo preocupaba sobretodo, era la claridad con cual se las podía concebir. El fundaba su geometría sobre la posibilidad de la construcción de puntos, fundada en términos de conocimiento cierto. Ahora bien la construcción geométrica de las curvas mecánicas se choca contra un obstáculo : solo pueden construirse puntos particulares, no todos los puntos. Sólo pueden construirse puntos por aproximación : la solución completa exigiría que se llevase al infinito esta aproximación, lo cual sobrepasa la comprensión, puesto que los procesos infinitos no responden a la exigencia de las ideas claras y distintas. Sin embargo, cuando Descartes se ponía a hacerlo, lo hacía con una gran virtuosidad.: tratando el problema de la cicloide en una carta para Mersenne, él utiliza los métodos infinitesimales (el de los indivisibles). Para el problema de la tangente de la cicloide, introducía la idea de centro instantáneo de rotación. Para el caso de la espiral logarítmica expuso a Mersenne el resultado de que el arco de la curva es proporcional al radio vector, y que el ángulo de la tangente con el radio vector es constante.

Descartes concibió su trabajo en geometría algebraica, como una rectificación de la clasificación hecha en la antigüedad donde no se tenía el álgebra y donde se consideraba que las curvas se engendraban por el movimiento. Sus investigaciones en Análisis, facilitadas por el uso de un simbolismo nuevo, claro y manejable (el que se usaba desde entonces) le permitía resolver rápidamente problemas complejos y reconocer los trazos que llevan a la clasificación.

En materia de novedad dentro de la tradición, se puede sin duda inscribir el renuevo del álgebra operado por Descartes, marcado por sus propias exigencias, simplificando y racionalizando las nomenclaturas inútilmente complicadas de las obras anteriores y deduciendo las reglas que permiten efectuar operaciones con magnitudes finitas, al mismo título las desconocidas que las conocidas, reorganizando, de hecho, la estructura de los tratados anteriores de las proporciones. Las notaciones nuevas que introdujo para designar las magnitudes le permitieron establecer fácilmente la correspondencia entre los problemas geométricos y la solución de las ecuaciones algebraicas.

Sin embargo, su innovación no consiste tanto en la utilización de las coordenadas para representar elementos de figuras geométricas -practicada igualmente por otros, como Fermat-, sino en la identificación que de hecho efectuaba entre la estructura del álgebra y la de la geometría, por una extensión conceptual y teórica de las operaciones aritméticas, y que corresponde al establecimiento de la geometría analítica, realizando una verdadera unificación de las matemáticas. Al respecto, el código simbólico es sólo un medio, tanto para la definición del álgebra como para la de la geometría algebraica, y sólo viene para simplificar

el lenguaje que expresa esas propiedades y amplificar la fuerza. Sería exagerado el atribuirle toda la importancia dentro de esa revolución conceptual, y ello equivaldría a negar la existencia más antigua de un álgebra y de una geometría en el sentido propio, sin el uso de símbolos, tal cual se encuentra en la tradición matemática árabe.

Uno puede reducir el pensamiento de la *mathesis universalis* a un código, y la revolución de las matemáticas cartesianas es aún más rica : unifica las matemáticas y revela el punto sobre el cual el programa de unificación es todavía imposible, el cual conlleva una generalización ulterior de la algebrización de la geometría por la definición de un nuevo algoritmo para definir las curvas y presentar y resolver las ecuaciones (el algoritmo diferencial).

Tendríamos que remitirnos al examen de la *Geometría*, donde los diferentes problemas que ocupaban Descartes -y especialmente el de Pappus- están distribuidos en las tres partes, en conformidad con el método expuesto en el Discurso, pero sobrepasa el marco de este trabajo.

Quisiera hacer aquí un comentario sobre el lugar que ocupa el infinito en Descartes, con frecuencia considerado como uno de los puntos débiles de su pensamiento matemático y físico. Se sabe que los fundamentos de la geometría y de la física de Descartes no le dan lugar al infinito : las curvas algebraicas son definidas a partir de procedimientos finitos; la materia, cuya esencia es la extensión, no le da lugar al vacío, que es, en cierta forma, una densidad infinitamente pequeña de materia. "Los límites de lo finito condicionan toda la ciencia cartesiana, de las matemáticas al sistema del mundo construido sobre una física de lo lleno, excluyendo el vacío", escribe por ejemplo Pierre Costabel. Un juicio como este tiene que ser matizado, y el rechazo de Descartes del infinito colocado en el lugar que le corresponde: la noción de infinito no está ausente de sus elaboraciones en matemáticas y en física pero no la tiene entre los elementos que permiten fundar un conocimiento.

Por una parte Descartes utiliza, como ya se vio, métodos arquimedianos o infinitesimales para tratar las curvas "mecánicas", que ocupan un lugar importante en su trabajo matemático sobre la geometría algebraica. La noción de infinito está, al respecto, ligada a un carácter de procedimiento, y no de existencia real -un poco como las entidades imaginarias. Descartes no ignora, por otra parte, que las coordenadas van al infinito, como entre otras cosas los brazos de las curvas geométricas no cerradas (asíntotas o direcciones asíntóticas), e indica que nada limita el aumento del grado de los polinomios, que en la clasificación de las ecuaciones y de las curvas algebraicas, puede ir hasta el infinito. A una pregunta de Mersenne, Descartes responde que un infinito puede ser más grande que otro, en especial según una relación finita 'por ejemplo, según dos unidades diferentes de medida por una recta). El modera casi inmediatamente, es cierto, esta consideración relativizando todo juicio sobre cantidades finitas, como escapando a nuestra comprensión : "¿Qué razón tenemos nosotros de juzgar si un infinito puede ser más grande que otro o no? dado que dejaría de ser infinito si pudiésemos comprenderlo"

El infinito que interviene en la ciencia está definido sólo en cierta forma pragmática y, desde un punto de vista fundamental, negativo, puesto que no puede ser directamente comprensible. El estatuto del infinito en el pensamiento de Descartes es tributario de sus exigencias sobre la inteligibilidad. El infinito es utilizado en el conocimiento pero sin com-

prender su naturaleza. Desde el punto de vista de la inteligibilidad, no hay infinito solo indefinido : Descartes expresa la negatividad del indefinido en su tratado sobre el Mundo y en las Meditaciones metafísicas, oponiéndolo a la perfección positiva de otra noción del infinito, relativa a Dios, emitida con el enunciado de las pruebas de la existencia de este último. "Comprender [o concebir], escribía ya en 1630, es abarcar el pensamiento, pero para saber una cosa, basta con tocarla con el pensamiento". A pesar de que el comentario sea hecho a propósito del conocimiento de la naturaleza infinita de Dios y de su omnipotencia, sirve también para la comparación de los infinitos y la utilización de los procedimientos infinitos.

Terminando encontraremos en la concepción cartesiana de la luz una indicación, que remite también al problema del infinito y de la inteligibilidad, que es quizás el síntoma de la dificultad que tiene la ciencia y la filosofía de Descartes para considerar en conjunto esos dos aspectos que dependen respectivamente el uno del otro.

5. Leyes del movimiento y geometrización de la física. La *Geometría*, la *Dióptrica* y los *Meteoros* son presentados por el autor como ensayos del *Método*. Sin embargo corresponden a investigaciones empezadas al menos diez años antes que la redacción del *Discurso del método*. Evocamos ya los primeros escritos sobre la física, entre 1618 y 1620 y algunos de los años posteriores. Unos diez años más tarde, *El Mundo* o *Tratado de la luz* constituye una etapa importante de la elaboración de la física de Descartes, retomada luego en los *Ensayos del Método* y en los *Principios de la filosofía*.

Queriendo traer la *mathesis universalis* a la física, Descartes más que matematizar esta afirmaba su necesidad de leyes. No hablaremos aquí de su fisiología, a la cual se extiende el comentario, sino para recordar su interés por familiarizarse con el conocimiento experimental haciendo observaciones y practicando disecciones. Quizás lo que le interesaba era conocer mejor el proceso que lleva, en el hombre (el Tratado sobre el Hombre había sido concebido para que fuese el octavo capítulo del Mundo) al conocimiento, de los sentidos al cerebro.

La física es una ciencia de las magnitudes que se llevan a proporciones justificando así ella misma su matematización, bajo el signo de la exigencia de la inteligibilidad, en relación con la *mathesis universalis*. En ese sentido es primero que todo el proceso del conocimiento quien lleva a la matematización de las magnitudes que conciernen al mundo real (mientras que las razones neoplatónicas gobiernan la matematización de la física de Newton); ésta es en seguida fortificada y fundada sobre la metafísica, y la física será geometrizada en principio ya que la esencia de la materia se identifica con la extensión. (Este es un programa que, dicho de paso, la física contemporánea retoma con gusto, con la relatividad general, pero también con las teorías de gauge. Dentro de esta perspectiva, el rechazo de Descartes por el vacío puede ser visto como la afirmación del carácter físico del espacio).

La idea de leyes de la física concierne sobretodo la *Dióptrica*, donde Descartes formula la ley del seno para la refracción de la luz, y su alcance es general. El título completo de la obra *El Mundo* es revelador : *El Mundo o Tratado de la luz*. Es la transmisión de la luz quien permite conocer el mundo, el objeto del conocimiento, que es pensado aquí al mismo

tiempo que el conocimiento mismo, según un movimiento reflexivo y crítico del pensamiento que quiere asegurarse al mismo tiempo la certeza de sus proposiciones.

La adecuación del mundo físico y de la luz, a pesar de las diferencias concernientes a la materia -la luz es para él inmaterial- y la velocidad -concebía que luz se transmite en forma instantánea- constituye una identidad de estructura, que conlleva un parentesco entre el movimiento de los cuerpos y la transmisión de la luz por medio de un éter material. "Lo que pretendo haber demostrado a propósito de la refracción, escribe Descartes a Mersenne, no depende de la certitud de la naturaleza de la luz, ni de lo que pasa o no pasa con ella en un instante, pero solo de que yo supongo que es una acción o una virtud que sigue las mismas leyes del movimiento local, en cuanto a la forma como se transmite de un lugar a otro, y que se comunica por la mediación de un licor sutil, que está en los poros de los cuerpos transparentes".

Podemos considerar con Alexandre Koyré, que con Descartes surge una nueva física, cuyos trazos principales él hace ver en un importante capítulo de sus *Estudios newtonianos* : una identificación total de la física celeste y de la física terrestre; la primera formulación completa del principio de inercia, liberado de la gravedad (que no fue el caso todavía en Galileo); el enunciado de un principio de conservación, y por último la noción de movimiento como estado, puesto en igualdad con el reposo, en ruptura con las concepciones aristotélicas, el pensamiento de la perseverancia en el estado permitiendo concebir el principio de inercia.

Aún si no se encuentra en Descartes la noción de movimiento-estado totalmente explícita es claro que su concepción del movimiento lo condujo directamente a la formulación del principio de inercia. En su tratado *El Mundo* escribe que el movimiento recto es el único completamente posible cuya naturaleza puede ser comprendida en un instante esto marca una diferencia importante con Galileo, para quien el movimiento recto y el movimiento circular son tan naturales el uno como el otro. La argumentación de Descartes es geométrica -el argumento vale tanto para el principio de inercia como para la rectilinealidad de la luz- haciendo intervenir al mismo tiempo la noción de instante. Para concebir el movimiento circular, "es necesario considerar al menos dos de sus instantes, o mejor dos de sus partes y la relación que existe entre ellas".

Además, todo lo que se requiere para producir el movimiento "se encuentra en los cuerpos en cada instante que pueda ser determinado mientras que ellos se mueven". Se necesitan entonces el instante y el movimiento -a cada instante se encuentra la tendencia al movimiento, el "conatus" o inclinación instantánea, que el cuerpo seguiría si no se le impidiera. Encontramos aquí de una cierta manera el pensamiento del infinitesimal, para el tiempo como para la materia-espacio y para el movimiento. El movimiento tiende sin cesar a aproximarse a lo instantáneo (instantaneidad) de la acción hasta identificarse con ella en el límite: esto marca otra diferencia con el pensamiento aristotélico que hace una distinción entre la potencia y el acto.

Retengamos la idea de la instantaneidad, que se encuentra en el centro de la idea del pensamiento en Descartes, a pesar de que él no se haya preocupado de expresar las leyes del movimiento en función del tiempo. Entre otras cosas su concepción de la causalidad se en-

cuentra libre del tiempo. La expresión de la ley del movimiento en función del tiempo es un descubrimiento de Galileo, a propósito de la caída de los cuerpos. Sin embargo este último no consideraba el tiempo instantáneo, preocupándose de velocidades medias en intervalos finitos de tiempo. (Es solo a partir de Newton que las leyes de la mecánica harían intervenir, de hecho, el tiempo instantáneo como variable del movimiento, pero sin conceptualizarla completamente).

A propósito de las leyes del movimiento, Descartes expresa, en los *Principios*, la idea de que habrá que creer en la regularidad de la naturaleza más que en la irregularidad (partiendo de la inmutabilidad de Dios, se logrará acceder a las leyes de la naturaleza). Y, en cuanto a la conservación del movimiento (por Dios), en el paso del movimiento de un cuerpo a otro, resulta de la ausencia de oposición entre el cambio perpetuo de las cosas y la constancia de Dios. A propósito de las leyes de la mecánica, d'Alambert, quien se encuentra más próximo de lo que él piensa de Descartes, diría un siglo más tarde : "si Descartes se equivocó sobre las leyes del movimiento, al menos adivinó que estas debían existir". Newton y sus sucesores, entre los cuales d'Alembert mismo, no dejaron de criticar a Descartes, avanzándose al mismo tiempo en la dirección que él había indicado (y sin duda era esa la condición para progresar en esa vía). El título mismo de los *Principia Mathematica (Naturalis Philosophiae)* de Newton proclama su intención polémica, pero al mismo tiempo confiesa su inspiración originaria : uno encuentra en los *Principios de filosofía* -y en otras obras de Descartes- elementos esenciales de donde surge la reflexión de Newton y de sus sucesores..

La obra de Descartes en física está, más que su *Geometría*, en gran parte sin terminar : como tal son la *Dióptrica* y los *Meteoros*, ensayos del método y como tales, "testimonios de una ciencia que se está haciendo", ofreciendo innovaciones con frecuencia y mostrando nuevos caminos. Los *Meteoros* contienen, por ejemplo, una explicación del arco iris, cuya teoría es cuantitativa y exacta en lo concerniente a la disposición de los arcos en función de las trayectorias de la luz (refracciones y reflexiones) en las gotas de agua en suspensión en la atmósfera; pero lo que concierne los colores es puramente cualitativo, y esta parte de la teoría deberá esperar a Newton.

La riqueza de intuición y la fecundidad de Descartes en lo que concierne la física es frecuentemente subestimada porque se la juzga en función de los desarrollos que la siguieron. Su pensamiento del tiempo, de su función en la naturaleza, es quizás la más rica y fecunda de todas sus concepciones físicas, sin duda porque ella gobierna la mayor parte de las otras.

Descartes enuncia y señala, por primera vez que yo sepa, la equivalencia de todos los instantes, y es todavía la luz quien le inspira esta idea. Escribe que no hay prioridad del tiempo, entendiéndolo en el sentido de que todas las partes de la luz en todos los instantes sucesivos son independientes de los precedentes, y esta dependencia es la misma de un instante a otro (lo cual, para nuestra comprensión actual, parece una especie de prefiguración de la ley diferencial). Explicándole a Mersenne lo que él entiende por transmisión de la luz en un instante Descartes indica : "La palabra instante no excluye sino la prioridad del tiempo, y no impide que cada una de las partes inferiores del rayo (proveniente del sol) no sea dependiente de todas las superiores, de la misma forma que el final de un movimiento sucesivo depende de todas sus partes precedentes". Y, en las *Meditaciones* : "El tiempo presente no depende de el que lo precede inmediatamente, es por eso que no se necesita la menor causa

para conservar una cosa, sólo para producirla la primera vez" (dicho de otra forma hay un vínculo entre la conservación del movimiento y su comunicación). No puede uno dejar de pensar en que la concepción cartesiana del tiempo físico corresponde a una intuición profunda que no tenía a su disposición el instrumento conceptual y matemático que permitiría sobrepasar la contradicción aparente de un movimiento que está a la vez sometido a una propagación determinada y concebido como instantáneo. Esta intuición es, por así decirlo, la del instante (sin duración) diferido...

El instante -la instantaneidad del tiempo- juega en Descartes un papel notable, en lo concerniente tanto a la experiencia humana como a la física : se trata, por la primera del acto consciente voluntario, por la segunda, del instante en la duración que llama ineluctablemente a nuestros ojos el cálculo diferencial.

El vínculo de la metafísica con la metafísica que se expresa en la concepción cartesiana del tiempo revela a la vez una continuidad y una ruptura con el aristotelicismo. Para Descartes, según Jean Wahl, "la doctrina de la causalidad instantánea se manifiesta en física por medio de la teoría de la instantaneidad de la luz como se manifiesta en física por medio de la teoría de Dios "causa de sí mismo", "causa sui". Esta causalidad no implica el tiempo y se aplica tanto a la esencia como a la existencia (lo cual es coherente con la escogencia del método, de llevar las cosas a las ideas que se tienen y de analizar las ideas). La causa se convierte en la razón ("causa sive ratio"), la causa eficiente (relativa a la existencia) se convierte en causa formal (relativa a la esencia) : en realidad ellas se confunden en Dios ("causa sui"), cuya idea esta estrechamente ligada a la de creación continuada". Y Wahl se pregunta si la obra de Descartes no habrá "consistido en unir profundamente a la idea de creación continuada, tal cual se presenta en la escolástica, la idea de tiempo discontinuo tal cual se formaba en la mecánica y en la física del Renacimiento".

6. Conclusión. La luz instantánea de la comprensión y el problema del conocimiento.

El tema del tiempo y de la instantaneidad, que hace surgir el paso continuo en Descartes, de las matemáticas y de la física de un lado a la filosofía, del otro a la metafísica -las primeras son indicadoras de las segundas, que se mantienen en su basamento-, lleva al problema fundamental del conocimiento que según él, trata de la evidencia, la intuición y la memoria, y hace intervenir la duda para reencontrar o fundar la certitud. En su tesis complementaria ya citada de 1920 sobre la función de la idea del instante en la filosofía de Descartes, Jean Wahl propone la idea de que "la existencia de la memoria, y de forma más profunda la realidad del tiempo, es uno de los motivos más importantes de la duda cartesiana" Uno de los principales problemas que Descartes se formula no es, justamente, el de saber si, cuando uno ha olvidado la concatenación del razonamiento por el cual se ha llegado a conclusiones de las cuales no puede uno dudar, ¿podemos todavía confiar en esas conclusiones? Se trata de encontrar "una certitud instantánea, una verdad que contiene su certitud, que sea esencialmente diferente de un razonamiento o de un recuerdo". Para Descartes, una tal verdad la llevamos en nosotros : el "pienso luego existo" (o "soy" : "Cogito, ergo sum"). Esta certitud existencial (producida en la subjetividad) inmediata, "necesariamente verdadera cada vez que la enuncio o que la concibo en mi espíritu", es instantánea. "De otra forma, ella estaría fuera del tiempo", indica Jean Wahl, que a ese propósito habla de "la simultaneidad necesaria de nuestra existencia y de nuestro pensamiento".

El fundamento del conocimiento, en la concepción de Descartes, es el hecho de la reflexibilidad del conocimiento, de la conciencia : "Es sobre la certitud de nuestra conciencia que estará fundada toda nuestra ciencia". Ese fundamento tiene una base, para Descartes, ya que "el pensamiento hace presentir la omnipotencia, la eternidad y la unidad de Dios". Es, en cierta forma, un punto de apoyo tomado sobre el infinito : se puede sin embargo tratar de laicizar esta intuición de Descartes (que no deja de recordarnos Pascal, sobre el hombre situado entre dos infinitos, el de la nada y el de Dios). Cuando consideramos la conciencia del pensamiento (pienso, luego, súbitamente, pienso que pienso, para pensar que soy) como función, es del pensamiento que partimos, no de la idea de Dios o del infinito, que no son necesarias a esta función, a su nivel de reflexibilidad del pensamiento. Podría decirse, en otros términos, que el "cogito", esta intuición (simplici mentis intuitu), es conciencia y afirmación de lo que el pensamiento constituye su propia referencia en tanto que ella es pensamiento, a su nivel de significación y por así decir -en términos problemáticos actuales-, a su nivel de emergencia. A la reflexibilidad del pensamiento corresponde la conciencia de ser, que se expresa en el enunciado "soy" -que reposa, en realidad sobre un "infinito" ontológico, cuya dificultad surge desde cuando se quiere explicitar la naturaleza de eso que captamos en la intuición.

Cierto, las nociones cartesianas forman sistema : hay un vínculo de necesidad entre sus significaciones, que hoy limita las posibilidades de su reactualización por nuestra propia intuición. Para Descartes, nosotros captamos en la intuición naturalezas determinadas, cuyo análisis conlleva a las naturalezas simples, que corresponden a las ideas innatas cuyo pensamiento es en cierta forma eterno. Pero para Descartes, tanto como para nosotros en nuestra formulación agnóstica, la intuición se encuentra en el punto de llegada como en el punto de partida : la intuición, como intelección por el pensamiento subjetivo, pero entendida (parcialmente) según contenidos explícitos diferentes para Descartes y para nosotros.

Bibliografía

Adam, Charles et Tannery, Paul [1896-1913]. Comentarios y notas de la edición crítica de las *Oeuvres de Descartes*, edición actualizada, in Descartes [1964-1974], 11 vols.

Alanen, Lily et Yrjönsuuri, Mikko [1996]. *Intuition, jugement et évidence chez Ockham et Descartes*, Communication au Colloque Descartes et le Moyen Age, París, Sorbonne, 4-7 juin 1996.

Alembert, Jean Le Rond d' [1751]. *Discours Préliminaire de l'Encyclopédie*, París, 1751.

Arnauld, et Nicole, [1662]. *La Logique ou l'Art de penser*, 2ème édition, París, 1664 [1ère éd.: 1662].

Baillet, A. [1691]. *Vie de Monsieur Des Cartes*, París, 1691, 2 vols.

Bayssade, Jean Marie [1979]. *La philosophie première de Descartes*, Flammarion, París, 1979.

Blay, Michel [1983]. *La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur*, Vrin, París, 1983.

Boyer, Carl B. [1968]. *A history of mathematics*, Princeton University Press, 1968; reed., 1985.

Buzon, Frédéric de, Carraud, Vincent [1994]. *Descartes et les Principia II, Corps et mouvement*, Presses Universitaires de France, París, 1994.

Clavelin, Maurice [1968]. *La philosophie naturelle de Galilée*, A. Colin, París, 1968.

Clavius, Christophorus [1608]. *Algebra*, Rome, 1608. 2ème éd., Orléans, 1609; 3ème éd., Mayence, 1612.

Costabel, Pierre [1982]. *Démarches originales de Descartes savant*, Vrin, 1982.

Descartes, René [1618]. *Musicae Compendium*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 10, págs. 79-141. Primera publicación, Utrecht, 1650. Trad. en francés por el P. N. Poisson, *Abrégé de la musique*, in Descartes, *Traité de la Méchanique*, Ch. Angot, París, 1668, págs. 53-98.

- [1619-1621]. *Premiers opuscles*, 1619-1621 (restés inédits jusqu'en 1859), in Descartes [1859-1860]. Igualmente in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 10, págs. 204-348.

- [ca 1628]. *Regulae ad directionem ingenii*, in Descartes, *Opuscula Posthuma*, Amsterdam, 1701; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 10, págs. 349-486 ; trad. al francés, *Règles pour la direction de l'esprit*.

- [1633a]. *Le monde, ou Traité de la lumière*, primera éd. post., Le Gras, París, 1664; éd. Clerselier, París 1677; igualmente in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, págs. 1-118. [Fecha probable de composición.]

- [1633b]. *Traité de l'homme*, primera éd. post., Le Gras, París, 1664; éd. Clerselier, París 1677; igualmente in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, págs. 119-215. (Chapitre VIII de *Monde*). [Fecha probable de composición.]

- [1637a]. *Discours de la méthode*, y "*Essais de cette méthode*": *La Dioptrique, Les Météores, La Géométrie*, Leyde, 1637; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6.

- [1637b]. *Discours de la méthode*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, págs. 1-78.

- [1637c]. *La Géométrie*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, págs. 367-486.

- [1637d]. *La Dioptrique*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, págs. 79-228.
- [1637e]. *Les Météores*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, págs. 229-366.
- [1641]. *Meditationes de Prima philosophia*, 1ère éd., Michel Soly, 1641 ; 2ème éd. augm., Louis Elzevier, Amsterdam, 1642; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 7, págs. 1-612. Trad. en Frances (1647), *Méditations*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 9, págs. 1-254.
- [1644]. *Principia philosophiæ*, 1ea éd. princeps, Louis Elzevier, Amsterdam, 1644 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 8, págs. 1-353. Trad. en francés (1647), *Principes de la philosophie*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 9, págs. 1-362.
- [1648]. *La description du corps humain*, primera éd. post., Le Gras, París, 1664 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, págs. 219-290.
- [1649]. *Les passions de l'âme*, Le Gras, París, 1649 et Elzevier, Amsterdam, 1649 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, págs. 291-498.
- [1657-1667]. *Lettres de Descartes*, éditées par Clerselier, 3 vols., Charles Angot, París, 1657, 1659, 1667.
- [1859-1860]. *Oeuvres inédites de Descartes*, éditées par Foucher de Careil, 2 vols., Auguste Durand, París, 1859-1860.
- [1964-1974]. *Oeuvres de Descartes*, publiées par Charles Adam et Paul Tannery, 11 volumes (1ère éd., 1896-1913) ; nouvelle édition révisée, 1964-1974; ré-éd., 1996. [Edición indicada AT en las notas].

Descartes, René et Schook, Martin [1988]. *La querelle d'Utrecht*, Textes établis et annotés par Theo Verbeek, Préface de Jean-Luc Marion, Les Impressions nouvelles, París, 1988.

Drake, Stilman [1980]. *Galilée*, trad. de l'anglais par Jean-Paul Sheidecker, Actes Sud, 1986.

Einstein, Albert [1954]. *Relativity and the problem of space*, in Ideas and opinions, New translations revised by Sonja Bargmann, Crown, New York, 1954; Laurel edition, 1981.

Koyré, Alexandre [1939]. *Etudes galiléennes* (1935-1939), Hermann, París, 1966.

Geymonat, Ludovico [1957]. *Galilée* (1957), trad. de l'italien par François-Marie Rosset, Laffont, París, 1968; Seuil, París 1992.

Gouhier, Henri [1958]. *Les premières pensées de Descartes. Contribution à l'histoire de l'anti-Renaissance*, Vrin, 1958.

- Guérout, Martial [1953]. *Descartes selon l'ordre des raisons*, Aubier, París, 1953, 2 vols.
- Houzel, Christian [1996]. *Descartes et les courbes transcendantes*, Comunicación al Coloquio Descartes et le Moyen Age, París, Sorbonne, 4-7 juin 1996.
- Husserl, Edmund [1934]. *Méditations cartésiennes*, trad.fr. par Gabrielle Peiffer et Emmanuel Lévinas, Armand Colin, París, 1934; ré-éd., Vrin, París, 1992.
- Itard, Jean [1984]. *Essais d'histoire des mathématiques*, réunis et introduits par Roshdi Rashed, Blanchard, París, 1984. (Capítulo sobre "La géométrie de Descartes", págs. 269-279.)
- Koyré, Alexandre [1939]. *Etudes galiléennes*, Hermann, París, 1966.
- [1968]. *Etudes newtoniennes* (édition française), Gallimard, París, 1968.
- Marion, Jean-Luc [1988]. *Prefacio a Descartes et Schook* [1988], págs. 7-17.
- Nourisson [1885]. *Pascal, physicien et philosophe*, Emile Perrin, París, 1885.
- Pascal, Blaise [vers 1647]. *Préface au Traité du vide*, in Pascal [1963], págs. 230-232.
- [1670]. *Pensées*, in Pascal [1963], págs. 493-649.
- [1963]. *Oeuvres complètes*, Préface d'Henri Gouhier, Présentation et Notes de Louis Lafuma, Seuil, París, 1963.
- Paty, Michel [1987]. *Einstein et la pensée de Newton*, La Pensée, n° 259, 1987, 17-37.
- [1990]. *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique (sciences, philosophie, épistémologie, histoire des sciences)*, L'Harmattan, París, 1990.
- [1993a]. *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, París, 1993
- [1994a]. *Le caractère historique de l'adéquation des mathématiques à la physique*, in Garma, Santiago; Flament, Dominique; Navarro, Victor (eds.), *Contra los titanes de la rutina.-Contre les titans de la routine*, Comunidad de Madrid/C.S.I.C., Madrid, 1994, págs. 401-428.
- [1994b]. *Sur l'histoire du problème du temps: le temps physique et les phénomènes*, in Klein, Etienne et Spiro, Michel (éds.), *Le temps et sa flèche*, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1994, págs. 21-58; 2è éd., 1995; Collection Champs, Flammarion, París, 1996, págs. 21-58.

- [1996a]. *Galilée et la mathématisation du mouvement*, Passages, n°76, avril-mai 1996, 49-53.

- [1996b]. *L'idée d'universalité de la science et sa critique philosophique et historique*, Conférence au IV Congreso de la Sociedad Latino-Americana de Historia de la Ciencia y la Tecnología, Cali (Colombie), 24-27 janvier 1995. A ser publicado en las Actas; igualmente en Asclepio (Madrid).

Rashed, Roshdi [1984]. *Entre Arithmétique et algèbre. Recherches sur l'histoire des mathématiques arabes*, Les Belles Lettres, Paris, 1983.

- [éd., 1986]. *Sharaf al-Din al Tusi. Oeuvres mathématiques. Algèbre et géométrie au XIIème siècle*, Texte établi et traduit par R. Rashed, Les Belles Lettres, Paris, 1986, 2 vols.

- [1992]. *Optique et mathématiques. Recherches sur l'histoire de la pensée scientifique en arabe*, Variorum, Aldershot (HR, UK), 1992.

- [1993]. *Géométrie et dioptrique au Xè siècle. Ibn Sahl, al-Quhi et Ibn al-Haytham*, Les Belles Lettres, Paris, 1993.

- [1996]. *Al-Hayyam, al-Tusi et Descartes*, Communication au Colloque Descartes et le Moyen Age, Paris, Sorbonne, 4-7 juin 1996.

Rodis-Lewis, Geneviève [1995]. *Descartes. Biographie*, Calmann-Lévy, 1995.

Shea, William [1972]. *La révolution galiléenne* (1972), trad. de l'anglais, Seuil, 1992.

Taton, René [éd., 1978]. *Roemer et la vitesse de la lumière*, Vrin, Paris, 1978.

Vincent, Julien [1995]. *Descartes et la Géométrie*, Presses Universitaires de France, Paris, 1995.

Vuillemin, Jules [1960]. *Physique et métaphysique chez Descartes*, Paris, 1960; ré-éd., 1987.

Wahl, Jean [1920]. *Du rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Thèse complémentaire de Doctorat ès-Lettres, Paris, 1920. Ré-éd. avec une introduction de Frédéric Worms, *Descartes et Cie*, Paris, 1994.