

La ruta a un doctorado exitoso en computación

La Academia Mexicana de Computación A. C. (Amexcomp) se fundó en enero de 2015 con el fin de crear un foro de pensamiento computacional de excelencia al servicio de México. La Academia tiene también por misión fomentar la vida colegiada de la comunidad nacional de computólogos y fortalecer a esta disciplina científica y tecnológica en nuestro país. A ocho años de su fundación la membresía de Amexcomp incluye a un nutrido grupo de destacados especialistas adscritos a Universidades, Tecnológicos e Institutos de Investigación de los sectores público y privado a lo largo del territorio nacional.

El presente libro resume la experiencia de muchos años de varios científicos de computación que fueron asesores de tesis doctorales, con la idea de aprovechar dicha experiencia para brindar guía a los alumnos de doctorados de computación, y a quienes estén considerando estudiarlo. Cada capítulo de este libro se enfoca en un aspecto en particular del doctorado en computación, pues éste, como la vida, es multifacético. Los capítulos fueron escritos por distintos científicos y educadores en computación, tratando asimismo de que el libro fluya naturalmente en el orden en que los capítulos son presentados. El libro es escrito en lenguaje sencillo y comprensible, evitando en lo posible el uso de términos técnicos o muy especializados, y tratando incluso que su lectura sea amena.

Empezando por distinguir entre las buenas motivaciones para estudiar un doctorado en computación y las no tan buenas, el libro aborda las distintas etapas que componen un estudio doctoral, pues en cada una de ellas hay que poner especial atención en distintos aspectos. Por ejemplo, en las etapas iniciales hay que hacer una buena elección de quien será el asesor por los próximos años; en otro se abordan métodos para situarse en la frontera del conocimiento. Un aspecto crítico del doctorado, el logro de la contribución innovadora, divide las etapas iniciales de las etapas finales del desarrollo de un doctorado y es la materia de un capítulo. En los capítulos dedicados a las etapas finales del doctorado se presentan guías para la escritura de la tesis, y se termina con una discusión sobre qué hacer una vez concluido el doctorado de manera que éste tenga el mayor impacto posible. Asimismo el libro contiene diversos consejos para reducir los riesgos y hacer del doctorado una experiencia del mayor impacto posible, tanto en la esfera profesional como en la personal.

ISBN 978-607-98941-6-0



9 786079 894160



La ruta a un doctorado exitoso en computación | Dr. Ramón F. Brena Pinero

La ruta a un doctorado exitoso en computación

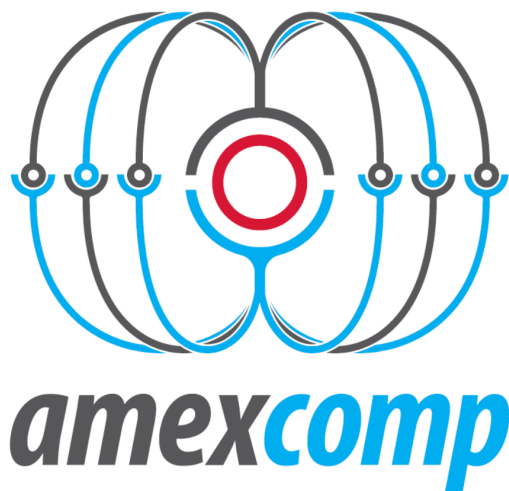


amexcomp

Dr. Ramón F. Brena Pinero

La ruta a un doctorado exitoso en computación

Ramón Felipe Brena Pinero
Editor



ACADEMIA MEXICANA DE COMPUTACIÓN, A.C.

La ruta a un doctorado exitoso en computación
Editor: Ramón Felipe Brena Pinero.

En colaboración con la Academia Mexicana de Computación: Coordinador:
Carlos Artemio Coello Coello.

Diseño de portada: Mario Alberto Vélez Sánchez

Primera Edición 2023

Academia Mexicana de Computación, A.C. Todos los derechos reservados
conforme a la ley. ISBN: 978-607-98941-6-0

Colaboradores capítulo 0: Ramón F. Brena Pinero

Colaboradores capítulo 1: Jesús Favela Vara

Colaboradores capítulo 2: Francisco Cantú Ortiz y Ramón F. Brena Pinero

Colaboradores capítulo 3: Jesús Favela Vara

Colaboradores capítulo 4: Ramón F. Brena Pinero

Colaboradores capítulo 5: Carlos A. Coello Coello y Ramón F. Brena Pinero

Colaboradores capítulo 6: Ramón F. Brena Pinero

Colaboradores capítulo 7: Francisco Cantú Ortiz

Colaboradores capítulo 8: Pablo C. Noriega Blanco Vigil

Este libro se realizó con el apoyo del CONACyT, Proyecto N° 318672.

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta, del
contenido de esta obra, sin contar con autorización escrita de los autores, en
términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y, en su caso, de los tratados
internacionales aplicables.

Impreso en México.

La ruta a un doctorado exitoso en computación

Autores:

Brena Pinero, Ramón F.
Cantú Ortiz, Francisco J.
Coello Coello, Carlos A.
Favela Vara, Jesús
Noriega Blanco Vigil, Pablo C.
Oktaba, Hanna

Prólogo

El doctorado es la cúspide de una serie de etapas de estudio, que empieza desde la infancia. Esto no quiere decir que al terminar un doctorado ya no hay nada más que aprender en la vida profesional, nada más alejado de la realidad. Sin embargo, la obtención de un doctorado, y en este caso en disciplinas afines a la computación o informática, es un logro que posibilita tener una fascinante vida trabajando como investigador, ya sea en universidades o en empresas. Pero también puede ser una gran pérdida de tiempo, y hasta una pesadilla de trabajo solitario y callejones sin salida. Es decir, con todo lo positivo que puede tener esta aventura de los estudios doctorales, hay que estar consciente de que:

- No a todo mundo le conviene emprender estudios doctorales, y computación no es la excepción.
- El doctorado es una larga ruta con obstáculos que sortear en cada etapa, incluso desde antes de inscribirse en él.
- Hay buenas y malas decisiones que tomar en cada punto, pero no estarás solo en la elección de lo que más conviene, y hay que saber sacar provecho de los apoyos que te pueden dar los actores esenciales, tales como el asesor, los sinodales, y hasta los compañeros de aventura estudiando también el doctorado.

Tras haber estudiado nuestro propio doctorado, y tras haber fungido como asesores y como sinodales de muchos alumnos, algunos de los cuales fueron muy exitosos y otros fracasaron miserablemente, los autores de esta guía nos dimos cuenta de que en estos últimos tuvimos algo de responsabilidad, aunque fueron los alumnos quienes sufrieron más fuertemente las consecuencias. Por eso decidimos condensar nuestro conocimiento práctico y nuestra experiencia como alumnos, asesores y sinodales en esta guía práctica, que –esperamos– apoyará al alumno (así como a asesores jóvenes que aún no han tenido la experiencia de asesorar tesis muy distintos) a orientarse en el camino del éxito, aunque esto pueda significar en

algunos casos ;simplemente no estudiar el doctorado! (ver sección “Las malas razones para inscribirse en un doctorado”).

En esta guía examinamos las etapas que tiene un doctorado, independientemente del plan de estudios e institución específica en donde lo estudien. Aunque hay diferencias importantes entre la forma en que se proponen los estudios doctorales en distintas universidades, lo que aquí enfatizamos no es tal o cual curso, sino si el alumno se encuentra en la etapa de exploración de problemas (etapa divergente) o por el contrario, tras haber encontrado su contribución original (el Eureka) hay que acotar el trabajo y planear cuidadosamente el cierre del doctorado (etapa convergente), así como el tipo de detalles en que hay que poner atención son distintas en dichas etapas. La falta de claridad en las etapas del doctorado que transita el alumno, y en consecuencia el tipo de trabajo que corresponde hacer en cada una, puede ocasionar retrasos de hasta años en la conclusión del doctorado, con las consecuencias negativas que esto tiene para el alumno (que debería dejar de serlo para incorporarse al mundo profesional) y también para el programa, que sufre una degradación de sus indicadores de terminación oportuna, los cuales a su vez impactan los apoyos oficiales al mismo.

Hay que aclarar que aunque el libro trata de abstraer las diferencias entre instituciones educativas, su ámbito de aplicación incluye en primer lugar los doctorados en México, y en cierta medida en América Latina, y en algunos aspectos España (uno de los autores trabaja ahí).

El contenido del libro está organizado en capítulos, de la manera siguiente:

Hay un capítulo 0 que introduce el significado de los principales términos usados en el escrito, tales como “programa de posgrado”.

En el capítulo 1 se analizan las buenas y malas razones para estudiar un doctorado en computación, evitando así caer en el error de creer que siempre es bueno estudiar un doctorado. Cuando los motivos para estudiarlo son válidos, el doctorado puede ser una aventura transformadora, y la base en que se apoya una carrera profesional de gran impacto. Pero cuando las razones para doctorarse son malas, los estudios doctorales pueden volverse un callejón sin salida, una pérdida de tiempo o simplemente una inversión con pocas utilidades. Todo depende de las metas en la vida de cada uno y de sus habilidades y preferencias.

El capítulo 2 examina las etapas del doctorado, lo que puede dar un panorama mucho más claro que la revisión de los cursos de un plan de estudios en particular, pues al saber el alumno en qué gran etapa se encuentra, puede saber qué tipo de trabajo se requiere, qué tipo de resultados hay que conseguir y hasta qué tipo de apoyo puede necesitar. La distinción entre etapa “divergente”, logro del “Eureka” y etapa “convergente” es un marco conceptual que casi no se encuentra en las guías de las instituciones que ofrecen estudios doctorales.

En el capítulo 3 examinamos cómo la relación entre el alumno y el asesor tiene aspectos tales como estilos de trabajo y liderazgo que son muy distintos de un asesor a otro, y que la relación a nivel personal es tan importante como los conocimientos que pueda tener un asesor. En esta guía vemos estilos específicos de dirección de tesis, y analizamos para qué tipo de alumnos pueden o no ser adecuados.

En los capítulos 4 y 5 examinamos la etapa divergente o exploratoria de la tesis y el hallazgo o “Eureka”, que permite pasar a la etapa convergente y luego cierre de la tesis.

El capítulo 6 atiende en detalle la escritura del documento de tesis, que muchos alumnos ven como su hijo intelectual, y que en ocasiones en aras de un perfeccionismo o pretensión literaria no dimensionan como lo que es, un reporte de investigación. Empezando por la estructura y el propósito de cada parte del escrito de tesis, e incluyendo principios generales de amplia aplicación en la escritura de tesis, así como errores comunes en que los alumnos tienden a caer, la guía trata de ser aplicable a una amplia variedad de universidades.

En el capítulo 7 se dan diversos consejos, tanto para reducir los riesgos de fracaso como para hacer más llevadero el tránsito por el doctorado. Los consejos se agrupan según la etapa del doctorado en que se encuentra el alumno, facilitando así identificar qué consejos pueden ser más relevantes para un alumno en particular.

Finalmente, en el capítulo 8 sugerimos cómo hacer para que la tesis doctoral no sea simplemente un requisito, un documento que se almacena (ahora digitalmente, antes en librerías donde acumulaban polvo) para no ser consultada, sino que proyecte al estudiante hacia un avance sustancial en su carrera de investigación. El doctorado es una gran experiencia, pero no es un fin en sí mismo, y hay formas de hacer que tenga mucho impacto tanto para el tesista como para la organización en que trabaja y la sociedad en general.

Esperamos que esta guía te sea de mucha utilidad. Si hay varias páginas que no están llenas de notas, subrayados y flechas, no habremos alcanzado contigo nuestro cometido. Pero, sobre todo, esperamos que esta guía sea un apoyo de valor para llevarte a tierra firme en la otra orilla del mar a veces proceloso que atraviesas en tus estudios doctorales en computación.

Academia Mexicana de Computación

Ramón F. Brena, editor

Julio de 2023

Contenido

Prólogo	v
Contenido	ix
Glosario	1
¿Por qué hacer un doctorado en Ciencias de la Computación?.....	5
Las etapas de un doctorado: ¿en cuál me encuentro?.....	13
El asesor y el tema de tesis	21
Volviéndose rápidamente un experto en el tema.....	33
El “Eureka”, el logro del descubrimiento innovador (o su ausencia)	45
Escritura de la tesis.....	53
Heurísticas diversas para el éxito en el doctorado	67
Tras la obtención del doctorado	77

Capítulo 0

Glosario

Dr. Ramón Brena

En esta sección aclaramos lo que indican términos como doctorado, tesis, sinodal, asesor, de forma que en el resto del libro podamos manejar una terminología única independientemente de la institución donde se desarrollen los estudios.

Para facilidad de referencia, al inicio de cada párrafo indicaremos en negritas el término clave al que nos referimos, y a continuación vienen las definiciones y aclaraciones.

Posgrado (o postgrado): Programa de estudios formal (esto es, con nivel reconocido oficialmente) que se debe estudiar tras la obtención del título profesional o equivalente de licenciatura. Esto incluye las maestrías y también los doctorados.

Maestrías “de investigación” y “profesionalizantes”: Para la admisión al doctorado es frecuentemente importante distinguir si el alumno viene de una maestría orientada a la investigación, la cual por lo mismo incluye siempre tesis además de los cursos, o de una maestría orientada a brindar a ingenieros o licenciados conocimientos y habilidades útiles en su profesión, la cual frecuentemente incluye solo cursos pero no tesis.

Doctorado: Es el grado de estudios más alto reconocido oficialmente en muchos países, generalmente estudiado tras una maestría en un área afín. Hay doctorados que no requieren maestría (doctorado directo), mientras que la mayoría sí la requiere. Generalmente los doctorados directos incluyen cursos similares a los de una maestría, mientras que el doctorado tras una maestría está constituido principalmente por el proyecto de investigación, por lo que a fin de cuentas no hay tanta diferencia entre ambas modalidades de doctorado.

Posdoctorado: Estancia de investigación (usualmente pagada) que puede hacerse tras la obtención del doctorado. No es un grado superior al doctorado, y no todas las instituciones que ofrecen puestos de posdoctorado entregan un diploma. La conveniencia (o no) de hacer un posdoctorado es un tema importante pero no está entre los temas que trata este libro.

Posgrados reconocidos: Hay programas de posgrado que, tras ser evaluados oficialmente, tienen reconocimiento y eventualmente apoyos tales como becas para los alumnos. En México los posgrados pueden solicitar entrar al PNPC de CONACyT (Programa Nacional de Posgrados de Calidad), una vez que acrediten satisfacer los requisitos. En el PNPC hay además varios niveles, “Reciente creación”, “En desarrollo”, “Consolidado” y “Competencia Internacional”. Obviamente para los alumnos es una enorme ventaja estudiar en un posgrado en el PNPC por la garantía de calidad (mayor mientras el posgrado tenga mayor nivel), además de poder contar con una beca. Varios de los autores de los capítulos de este libro fueron ya sea evaluadores para PNPC o directores del programa evaluado.

Asesor: Es el profesor que dirige el trabajo del estudiante de doctorado. El significado de “dirigir” es comentado en el capítulo 3 de este libro, así como las responsabilidades y derechos de la mancuerna alumno – asesor.

Sinodal: Es un profesionalista o académico con grado suficiente (según la institución educativa) para evaluar el trabajo del tesista, ya sea en la defensa de la tesis o bien en las instancias que el programa doctoral considere, que llega a tener evaluaciones cada semestre. El sinodal de doctorado debe tener el grado de doctor.

Co-asesor: Participante del comité de tesis que comparte con el asesor la responsabilidad de guiar el trabajo del alumno.

Comité de tesis: Es el grupo de los sinodales y el asesor (y eventualmente co-asesor). Las decisiones del comité de tesis pueden ser tomadas por consenso o por mayoría, según la institución del programa doctoral.

Tesis: Es el documento que somete el estudiante como reporte del trabajo realizado durante su estancia en el programa, y con el cual pretende graduarse.

Tema de tesis: Es el problema que se pretende resolver en la investigación doctoral. Generalmente es propuesto por el asesor (ver capítulo 3). En ocasiones es un área de estudio muy particular, no un problema.

Propuesta de tesis: Este es un término con muchos usos según el programa del que se trate. En algunos programas es una idea inicial de proyecto que se presenta (ya sea por el alumno o en conjunto con un asesor) como parte del proceso de admisión, mientras que en otros programas es ya una parte sustancial del proyecto de tesis, que se presenta (y a veces se defiende) en un punto avanzado del programa de estudios.

Manuscrito de tesis: Es una versión de trabajo de la tesis, usualmente para revisión, antes de ser publicada oficialmente. ¡Obviamente no es escrita a mano!

Defensa de tesis: Es una evaluación presencial, en la que el alumno recibe observaciones de los sinodales sobre el manuscrito de tesis, y trata de responderlas argumentando en favor de la excelencia de la tesis. Usualmente inicia con una presentación del alumno exponiendo los aspectos más relevantes de la tesis. En algunos programas la defensa es pública y en otros es a puerta cerrada.

Publicación científica arbitrada: Un reporte de investigación puede ser publicado en una conferencia o en una revista, pero en ambos casos hay la posibilidad de que se trate de una publicación con un proceso de revisión formal o que sea por invitación. Una revisión formal idealmente es un proceso riguroso que en primer lugar incluye varios revisores, manteniendo el anonimato de éstos para evitar represalias al ejercer éstos la crítica. En la gran mayoría de conferencias arbitradas los autores son anónimos. En las revistas, en cambio, algunas exigen el anonimato de los autores y otras no, confiando en que los revisores no se dejarán influenciar por saber quiénes son los autores o de qué país son.

Capítulo 1

¿Por qué hacer un doctorado en Ciencias de la Computación?

Dr. Jesús Favela

¿En qué ayuda un doctorado a mi desarrollo profesional?

¿Es un doctorado una buena opción para mí?

Si en algún momento te has hecho alguna de estas preguntas, este libro es para ti. Si actualmente te lo cuestionas, estás leyendo el capítulo correcto. Probablemente has destacado como uno de los mejores alumnos en tus cursos desde que estudiaste la primaria. Posiblemente ha atraído tu atención el conocimiento que exhibe algún profesor con doctorado que te ha dado clases o algún investigador que haya impartido un seminario al que has asistido. O simplemente, empatizas con un personaje científico de la historia o de una película. Y esto ha despertado en ti curiosidad por la profesión de investigación al grado de considerarla como una alternativa de desarrollo. Acaso, como en algún momento en tu infancia consideraste dedicarte profesionalmente a ser bailarina o futbolista, hoy te preguntas si tu destino es convertirte en investigador en Ciencias de la Computación.

En las últimas décadas la labor de investigación se ha profesionalizado, particularmente en países como México, que no tienen una larga tradición en investigación. El porcentaje de personas que realizan un posgrado ha ido aumentando, aunque en México es aún bajo: 1% con posgrado y uno de cada mil con doctorado, que es la proporción más baja en países de la OCDE [1]. El crecimiento de los posgrados ha sido fomentado por el desarrollo de una sociedad del conocimiento, en donde los productos de la investigación cada vez aportan un valor más tangible y a más corto plazo, y en parte porque el desarrollo económico mundial permite a más personas trabajar en el ahora llamado sector cuaternario. Es

decir, en el sector de la economía basado en el conocimiento, relacionado principalmente con la investigación y el desarrollo.

Realizar un doctorado requiere generalmente no menos de cuatro años con dedicación de tiempo completo, lo que implica una inversión de esfuerzo considerable. Incluso el simple proceso de ingreso, que suele involucrar exámenes y posiblemente la elaboración de una propuesta de tesis, puede requerir varios meses de trabajo previo. Es por ello que la decisión de realizar un doctorado no debe tomarse a la ligera, es un camino con muchas satisfacciones, pero también de grandes retos. Es la excepción, quien a lo largo de este proceso no se cuestiona en algún momento si tomó la decisión correcta al ingresar al doctorado.

Con el propósito de ayudar a tomar esta difícil decisión en este capítulo abordamos algunas de las posibles motivaciones que suelen tener quienes consideran realizar un doctorado.

Algunas razones que NO son suficientes para decidir hacer un doctorado

Soy muy buen estudiante. Me gusta aprender

Cuando uno tiene un buen desempeño en alguna actividad, recibe retroalimentación positiva y eso ayuda a formarnos la percepción que tenemos de nosotros mismos. Es por ello natural, que si de niños somos buenos para dibujar o jugar fútbol, le dediquemos más tiempo a estas actividades y lo consideremos como opción de desarrollo profesional. Más específicamente, buenos estudiantes de licenciatura suelen recibir sugerencias, de parte de sus maestros, para que consideren realizar un posgrado; y estudiantes de maestría para continuar un doctorado.

Sin embargo, aunque el desarrollo del doctorado requiera tomar algún curso o capacitarse en algún área en particular, esto suele representar un porcentaje pequeño del esfuerzo y tiempo necesario para obtener el grado, sobre todo si se compara con estudios de licenciatura o maestría. La carrera de un investigador precisa también de un aprendizaje y actualización continua, pero en realidad todas las profesiones hoy en día, y marcadamente las relacionadas con tecnologías de información, requieren de aprendizaje para toda la vida. Entonces, si solo te gusta aprender cosas nuevas podrías tener mejores oportunidades de hacerlo dedicándote a la práctica profesional que realizando un doctorado.

Adicionalmente, la gran mayoría de quienes estudian un doctorado han sido buenos estudiantes. Eso puede causar que el reconocimiento que recibíamos en la licenciatura, por ser uno de los mejores estudiantes de nuestra generación, desaparezca o disminuya cuando nos convertimos simplemente en otro buen estudiante de doctorado.

En conclusión, si uno disfruta de aprender, una maestría puede ser una buena opción, pero no es suficiente motivación para realizar estudios de doctorado.

Me gusta enseñar

Se experimenta una gran satisfacción cuando ayudamos a un compañero a finalmente entender un tema complejo. La docencia, es sin duda, una vocación que incluye una serie de intereses, aptitudes e ideales, que no todos comparten. Más aún, puede ser que ya tengas una amplia experiencia como docente en educación media o superior, y eso constituya parte de tu motivación para hacer un doctorado. Quizá motivado parcialmente por los incentivos que la propia escuela o universidad tenga, como, por ejemplo, obtener una promoción al obtener un doctorado, o una descarga de cursos para dedicar tiempo a la investigación. Paradójicamente, esto último haría que le dediques menos tiempo a enseñar.

Si bien las universidades cada vez requieren que su planta docente tenga un mayor porcentaje de doctores y crean incentivos, en ocasiones perversos (priorizando el título sobre la labor docente) para estudiar un doctorado, lo cierto es que un buen investigador no necesariamente es un buen profesor y un buen profesor no necesita ser un investigador. Aun así que si la docencia es tu motivación única y no tienes el interés en la investigación no es recomendable realizar un doctorado con esta motivación única.

Con un mejor currículum podré conseguir un mejor empleo

Algunos estudios indican que existe una correlación entre años de estudio e ingreso. Sin embargo, en el caso particular de las Ciencias de la Computación, no sólo sigue habiendo una gran demanda laboral en el área, sino que en años recientes los salarios promedio han tenido un incremento importante y un profesionalista en el área con años de experiencia equivalentes a los que requiere hacer una maestría y doctorado puede aspirar a un sueldo equivalente o superior al de un profesionalista

con doctorado, sobre todo si este último se dedica a la academia. Más aún, el ingreso que puedas obtener de una beca para hacer el doctorado normalmente estaría por debajo al que puedes aspirar en el ejercicio profesional en tecnologías de información.

En definitiva, al menos en Ciencias de la Computación y en la actualidad, mejorar el ingreso no es una buena motivación para hacer un doctorado.

Me interesa abordar problemas complejos y no seguir dando mantenimiento a sistemas administrativos

En ocasiones he escuchado a estudiantes que ingresan a un posgrado porque se sienten desmotivados en un empleo un tanto repetitivo y sin muchas oportunidades de seguir aprendiendo. En este sentido el espectro de empleos en tecnologías de la información es muy amplio, y puede incluir, desde el mantenimiento e instalación de equipo de cómputo hasta el diseño y análisis de algoritmos complejos y novedosos. Afortunadamente, es cada vez más fácil aspirar a trabajos que involucren un reto intelectual, si uno así lo desea, inclusive trabajando de forma remota.

Sin embargo, si uno lleva ya algunos años haciendo trabajo rutinario y quisiera actualizarse en algunos temas para aspirar a otro tipo de empleo, realizar una maestría puede ser una buena alternativa. A partir de eso buscar un empleo que implique un mayor reto intelectual o tomar la decisión de realizar un doctorado.

Puedo recibir una beca

Obtener una beca para realizar estudios de posgrado puede ser un incentivo en épocas de incertidumbre laboral. Sin embargo, en Ciencias de la Computación el monto de una beca suele ser inferior al que puede aspirar un profesionalista, sobre todo si se toma en cuenta el esfuerzo y el tiempo que toma realizar un doctorado. En definitiva, tener acceso a una beca puede ayudarnos a tomar la decisión de hacer un doctorado, pero por si sola es una motivación insuficiente.

Estatus

Un doctorado es considerado el culmen de los estudios y solo un pequeño porcentaje de la población cuenta con dicho grado (la OECD estima que el 0.1% de la población mexicana entre 25 y 64 años cuenta con un doctorado [1]). Ante esto, es normal que algunos lo consideren como un reconocimiento en sí mismo y resulte atractivo tener tal logro, para agregarlo a la lista de grados obtenidos. De entre todos los argumentos expuestos anteriormente como motivos insuficientes para realizar un doctorado, este es sin duda, el que menos peso debería tener. Basar nuestro desarrollo profesional (o personal) en el reconocimiento de terceros es una fórmula para ser infelices.

Estudiar mientras me caso

Desafortunadamente, una de las malas prácticas es pensar que puedes seguir estudiando para “pasar el tiempo” en lo que encuentras al compañero(a) indicado para emprender una vida juntos, este hecho pasa con más frecuencia de lo que creemos, y muy tristemente quita oportunidad a quienes de verdad están convencidas de involucrarse en un doctorado. Si se te ha pasado por la mente estudiar mientras te casas, no lo hagas, no es la mejor razón para elegir estudiar un doctorado.

Buenas razones para estudiar un doctorado

Interés en una carrera en la academia

Desde que cursamos la licenciatura vamos formando nuestra percepción del trabajo de un académico. Sin duda, la docencia y en general la formación de recursos humanos, es un componente importante de dicha labor. En ocasiones también tenemos oportunidad de ver y experimentar la otra faceta; la de la investigación. Posiblemente asistiendo a seminarios o congresos, o colaborando activamente en un proyecto.

La motivación más clara para realizar estudios doctorales es haber decidido realizar una carrera en la academia. Como se menciona arriba, cada vez es más difícil ser contratado como profesor/investigador sin haber obtenido un doctorado. Es decir, el doctorado se está convirtiendo en un prerrequisito para un trabajo como académico en una universidad.

El trabajo académico generalmente combina actividades docentes, con la formulación de propuestas de proyectos y su gestión, así como el desarrollo propiamente de la investigación. Durante el doctorado solemos concentrarnos principalmente en esta última, que para muchos es la más gratificante y tiempo después añoramos la época en la que podíamos dedicarle nuestra atención completa.

Inquietud intelectual. Dedicarse a la investigación

Quienes no están familiarizados con el trabajo de un investigador suelen pensar que un doctor es un individuo que “sabe mucho” y tiene una opinión digna de respetarse. El trabajo doctoral y la posterior especialización de un investigador en activo, lo hace efectivamente un especialista en un tema relativamente estrecho de conocimiento. Puede ser la persona que sabe más sobre esa materia en el mundo, pero eso no lo hace especialista en otros campos del saber. No es raro que a un doctor en computación le pregunten sobre problemas de salud pública (pandemias), economía (en qué instrumentos invertir ante la incertidumbre geopolítica) u otros temas alejados de su especialidad.

Roger Shank comenta en su libro [2] que en el imaginario popular el mayor temor de un profesor universitario es no tener una respuesta ante una pregunta. En realidad, un investigador debería tener una respuesta simple para la mayoría de las preguntas: “no sé”. A lo que le suele tener miedo, no es a no tener respuestas, sino a no tener preguntas. Un investigador que ya no tiene preguntas sobre su área de especialidad se vuelve obsoleto. Uno de los principales productos de un trabajo de investigación (y de una tesis doctoral) son las nuevas preguntas que surgen a partir de los resultados obtenidos.

Un individuo con inquietud intelectual es alguien que constantemente se plantea preguntas sobre cómo funciona el mundo o sobre nuevas maneras de resolver un problema, y cuestiona constantemente el estado del conocimiento. Es sobre esta base que la ciencia avanza. Desafortunadamente la educación que recibimos con frecuencia enfatiza más el memorizar datos o aprender a resolver problemas con métodos conocidos, que el cuestionarnos por qué las cosas son de cierta manera. Para quién cuenta ya con esta inquietud intelectual realizar un doctorado puede ser algo relativamente natural. Por otra parte, es algo que también se aprende.

Un grado de doctor, es a fin de cuentas un comprobante de que quien lo sustenta es capaz de plantear un problema de investigación y resolverlo; no para decir la última palabra sobre el tema, sino para hacer un pequeño, pero no por ello menos significativo, aporte al estado del arte en su campo de especialidad.

El placer de investigar

Finalmente, el principal argumento para realizar un doctorado es que es divertido. Es intelectualmente estimulante plantear un problema complejo y realizar una aportación al conocimiento. El gran esfuerzo que conlleva, las múltiples frustraciones de resultados negativos o incompletos suelen verse recompensadas cuando contemplamos el resultado final. En unos cuantos años nos hemos convertido en especialistas de un tema. Pero esto es solamente el inicio de un largo camino. Aunque muchos consideran la obtención del grado de doctor como el ápice de su carrera profesional, en realidad representa apenas los primeros pasos de una carrera de investigación, y si algo aprendimos del esfuerzo realizado, es que mientras más conocemos, más queda claro todo lo que ignoramos.

En resumidas cuentas, estudiar un doctorado es una elección de trayectoria profesional con ventajas y desventajas; ciertamente te abre unas puertas, pero también te cierra otras, y hay un costo de oportunidad, pues en vez de hacer el doctorado podías estar trabajando en un empleo, ganando dinero, adquiriendo experiencia y escalando puestos. Y definitivamente no es para todo mundo: ni siquiera es para “los mejores”, pues es la preparación para un tipo de trabajo que no necesariamente está bien alineado con tus fortalezas y tus gustos. No estudies el doctorado por el prestigio del título de doctor; lo resume la (supuesta) frase en latín “*Doctoris stultitia non absulit*” (lo doctor no quita lo tonto). Pero si te interesa estudiarlo por un genuino interés en la investigación y el trabajo académico, por la curiosidad y el placer de encontrar cosas que antes no se sabían, entonces ¡eres bienvenido a embarcarte en esta aventura!

Si soy mujer, un doctorado en computación ¿es una buena opción?

Ciencias de la Computación es un área de conocimiento con grandes oportunidades para desarrollar soluciones de distintos ámbitos, que requiere de personas innovadoras, creativas, con deseos de realizar investigación de vanguardia para resolver problemas de distintos dominios y que no requiere fuerza física pero sí intelectual. Por eso, si estás dudando que un doctorado en Ciencias de la Computación es para ti, pregúntate si eres una mujer creativa, disciplinada, inquieta, perseverante y apasionada.

Referencias:

[1] “Education at a Glance 2019”, OECD, 2019,
https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/EAG2019_CN_MEX_Spanish.pdf

[2] Roger Shank, “Teaching Minds: How Cognitive Science Can Save Our Schools”, Teachers College Press, 2011.

Capítulo 2

Las etapas de un doctorado: ¿en cuál me encuentro?

Dr. Francisco Cantú Ortiz

Dr. Ramón Brena

Aclaraciones preliminares

En este capítulo, cuando nos referimos a “las etapas de un doctorado” no haremos referencia a cuestiones meramente administrativas, tales como las inscripciones o los cursos que debe el alumno acreditar, sino a aspectos más esenciales, referentes a la naturaleza del trabajo de doctorado. En primer lugar, hay muchos programas doctorales con requisitos administrativos distintos, lo que hace imposible cubrir todos ellos. Mientras que hay guías para el alumno específicas en algunas instituciones (como la guía de posgrado del MIT [1]), este libro trata de ser más general, estando orientado a la mayoría de los doctorados en computación de México y tal vez América Latina.

El aspecto principal de este capítulo es hacer la distinción entre la etapa “divergente” del doctorado, que viene primero, y que es seguida por la etapa “convergente”. Más adelante explicaremos qué las distingue, qué las separa, y cómo al estar conscientes del punto en que nos encontramos podemos trabajar más eficientemente.

En la mayoría de los casos, el doctorado no es el primer posgrado que hace el alumno, pues antes cursó una maestría, y por lo tanto ha vivido directamente lo que es trabajar en investigación, tener un asesor, etc., excepto si en esa maestría no había tesis (en general las maestrías previas a un doctorado en computación sí tienen tesis, pues son “de investigación” y no “profesionalizantes”, ver glosario al inicio del libro). Hay también la salvedad de que algunos programas doctorales aceptan

alumnos que vienen directamente de los estudios de nivel profesional (se les llama “doctorado directo”), y por ello la investigación puede ser nueva para ellos, aunque en la mayoría de los casos el comité de admisiones del programa doctoral directo pone atención en que el alumno ya haya publicado algún artículo, o haya hecho una estancia de investigación, o que de alguna manera demuestre tener una idea de a qué se está inscribiendo.

Aunque puede sonar como una opción muy “conveniente” entrar al doctorado directamente, la experiencia ha mostrado que muchas veces lleva al fracaso (el alumno termina abandonando el programa), no solamente por faltarle la experiencia de hacer investigación (que generalmente adquiere en la maestría), sino también por la toma de conciencia, en algunos casos, de que tal vez la investigación no es lo que un alumno en particular quiere hacer como forma de vida. Es un error pensar que la maestría es “como un doctorado chiquito”, pues la naturaleza del trabajo no es la misma, aunque tengan en común la elaboración de una propuesta, la elección de tema y asesor, las reuniones con el asesor, la escritura de la tesis, y la defensa. La maestría involucra un trabajo mucho más acotado, y nunca supera la “expertise” del asesor en el tema, lo que sí ocurre en el doctorado, al final del cual el alumno debe encontrarse entre los investigadores con más conocimiento del área de su tesis en el mundo entero. Aunque hay maestrías que no requieren tesis, al menos en el caso países como México, solamente las maestrías no orientadas a la investigación, que son llamadas “profesionalizantes” permiten no hacer una tesis.

Otra distinción entre distintos programas doctorales es que en algunos de ellos el alumno ya debe haber sometido una propuesta preliminar y tener un asesor, mientras que en otros programas el alumno se inscribe al programa doctoral y en el transcurso de los primeros semestres (dos, generalmente) elige asesor y tema de tesis, y entonces elabora una propuesta doctoral.

Otro aspecto que podemos considerar y que acompaña al alumno en sus etapas doctorales es el relacionado con su estado civil, es decir si es soltero o casado, y en este último caso, si tiene hijos que educar y mantener junto con su cónyuge. Este aspecto es importante porque influirá de manera decisiva en el cumplimiento de las metas de cada etapa del doctorado. De varios alumnos que han terminado sus estudios doctorales en los últimos años, podemos mencionar el caso de cuatro de ellos, quienes pudieron graduarse exitosamente siendo casados y en tres de los cuatro casos, con hijos, que, junto con sus esposas, apoyaron decididamente los estudios

del alumno doctoral. Pero hay casos en los cuales no se puede contar una historia con final feliz.

En el caso de las alumnas de doctorado, que estén o deciden casarse y tener hijos durante el doctorado, la situación es todavía más difícil pero no imposible. Mucho depende del apoyo de su pareja y la manera de organizar su vida personal para poder contar con suficiente tiempo y la tranquilidad requerida para hacer una investigación de larga duración.

Aunado a ello, se sigue teniendo un gran reto, el de atraer una mayor participación de niñas y mujeres en el estudio de la ciencia que no es un problema reciente. Se han realizado diversos esfuerzos durante más de tres décadas, que inviten e incentiven a más niñas y mujeres a participar en diversos programas de STEM (acrónimo en inglés de “Science”, “Technology”, “Engineering”, and “Mathematics”). Sin embargo, tales esfuerzos no han tenido frutos o al menos, no los esperados. Si bien, estudiar un doctorado lleva consigo una serie de factores a considerar, ser mujer doctoranda, implica un mayor número de retos.

La elección del tema sobre el que va a trabajar el alumno en su doctorado, así como de su asesor, tiene muchas aristas, y es discutido en detalle en el capítulo 3.

Etapa divergente y etapa convergente

Ahora entraremos a la parte más sustantiva de este capítulo. Lo más importante para hacerse una idea de cómo es el camino recorrido durante un doctorado es entender que tiene primero una etapa divergente y luego una etapa convergente.

En efecto, la etapa divergente, que es la primera parte del doctorado (puede abarcar desde unos dos hasta 5 semestres o más), incluye la elección de asesor y tema de tesis, la revisión bibliográfica, los experimentos preliminares, y todo lo que se haga antes de encontrar una contribución original de valor suficiente para justificar el doctorado, que nosotros llamamos el “Eureka”; éste último es, por lo tanto, el punto divisorio tras el cual empieza la etapa convergente. La etapa divergente se llama así porque en su transcurso el alumno explora muchas posibilidades, el 90% de las cuales tal vez no apoyen directamente la contribución del Eureka, pero que es necesario explorar. Definir el tema de tesis es una labor de

exploración, pues sería muy raro que el tema de tesis definitivo sea la primera idea que se le haya ocurrido al alumno (o al asesor).

El planteamiento inicial de la propuesta de tesis, desde luego, tiene mucho impacto sobre su continuación y eventual conclusión. Si el planteamiento inicial es demasiado ambicioso, se corre el riesgo de dejar el trabajo inconcluso (no se puede, o debe en todo caso, aprobar un trabajo doctoral sin contribución original suficiente). Por ejemplo, puede haberse programado un ambicioso sistema computacional, pero sin llegar a probar que tiene las propiedades que se le atribuyen.

También hay que distinguir entre lo que se va a incluir (suponiendo que la contribución original ha sido lograda) en la tesis misma y lo que se va a dejar como trabajo futuro mencionado al final de la tesis. Por cierto, trabajo futuro no es la promesa de que uno lo va a efectuar, sino es la propuesta de una dirección de investigación que uno considera promisoria, lo que es muy distinto. En este caso la decisión es más sencilla, pues ya habiendo cumplido con lograr la contribución original, todo depende de los recursos disponibles, sobre todo de tiempo.

Por lo comentado, la misma naturaleza del doctorado, y el hecho de que en muchas ocasiones no se sabe exactamente qué se va a encontrar (hacer un doctorado es como embarcarse en el viaje de Cristóbal Colón, en que hay un objetivo, pero no se alcanza a ver la otra orilla), hace difícil la labor de acotar el trabajo –que no es lo mismo que interrumpirlo– y evitar la abrupta terminación de la investigación simplemente porque se agotó la beca del estudiante o el tiempo permitido.

Entonces, ¿qué es lo que permite saber que estamos en una etapa de cierre del trabajo doctoral? Para empezar, ya se deben haber cumplido los puntos siguientes (que se discuten en capítulos posteriores de este libro):

1. Haber realizado una extensiva investigación del estado del arte en el área en que se sitúa el tema de tesis para asegurarse que el problema que queremos atacar no se ha resuelto.
2. Haber encontrado resultados originales (el “Eureka” del capítulo 5).

Se puede o no haber realizado la publicación de un artículo de revista o de conferencia, pero los dos puntos anteriores (y sobre todo el segundo) son requisitos indispensables para pensar que ya se puede considerar el proceso de cierre y terminación del doctorado. Desde luego, publicar un artículo arbitrado en una revista

o conferencia es evidencia objetiva del valor del resultado encontrado, por lo que es altamente deseable.

Si no se tienen contribuciones originales, no importa lo mucho que se haya trabajado, no importa el tiempo que haya pasado, el doctorado aún no tiene lo esencial para considerarse como cercano a su terminación. Atención, si se han encontrado resultados negativos (por ejemplo, que por el método X no se puede resolver Y), éstos son también resultados, y si nadie lo había encontrado antes, es una contribución original, aunque siempre es mejor visto encontrar resultados “positivos”.

Resumiendo, en las fases iniciales del doctorado, durante la etapa “divergente”, se exploran muchas posibilidades, según avanza el examen de trabajos de otros investigadores y el propio trabajo, hasta que se encuentran “vetas” prometedoras, se encuentra eventualmente algún resultado original, y es entonces cuando se puede pasar a la etapa “convergente”.

En la etapa convergente se apuntala el resultado encontrado expresándose en forma sólida, generalmente matemática en el ámbito de la computación; se le relaciona con los trabajos anteriores (ver capítulo 4), se encuentran las condiciones en que el resultado original tiene validez, etc.; con todo lo anterior se puede pasar a reflejar el trabajo hecho en el manuscrito de la tesis (capítulo 7). En estas etapas finales, todo gira en torno del resultado obtenido; incluso frecuentemente dicho resultado es primero publicado en un foro científico (revista o conferencia) en forma compacta, y luego explicado detalladamente en el documento de tesis.

Como se puede apreciar, no se piensa en el “cierre” de la tesis cuando se está acabando el tiempo, sino cuando se considera que un núcleo de resultados originales tiene el valor como contribución suficiente para un trabajo de doctorado.

Cuando más que terminar el trabajo de tesis se acaba el tiempo establecido por el programa doctoral o la beca del estudiante, éste se encuentra en grave predicamento, y puede ya sea ir avanzando por su cuenta (si el programa lo permite), ya sin beca, o simplemente sus estudios quedan inconclusos.

Desde luego, juzgar que cierto resultado es el hallazgo central del doctorado es una decisión difícil, y por ello hay todo un capítulo (el 5) dedicado a esto. Aquí estamos suponiendo que ya hay evidencia de que dicho resultado y su relevancia ya

pueden darse por hecho. Como comentamos anteriormente, la publicación de un artículo arbitrado es un buen indicador de que se tiene algo de valor.

A veces la contribución original es encontrada algo tarde y el doctorado se extiende por años (o no se termina), y en otras afortunadas ocasiones se encuentra rápidamente. En nuestra experiencia como asesores de tesis doctoral, hemos tenido varios casos en esta última categoría; sin embargo, eso no quiere decir que el doctorado pueda hacerse tan corto como uno quiera. Los programas doctorales en Computación en que hemos asesorado tesis reparten el avance de la tesis doctoral en “materias”, tales como “Propuesta doctoral”, “Investigación doctoral XI”, etc., y el alumno debe, para terminar su doctorado, cursar todas las materias del plan de estudios. Así, en el caso de Enrique X (nombre ficticio) ya se había encontrado un resultado de importancia considerable, el cual fue validado por una publicación en revista indizada, pero le faltaban varias materias de investigación doctoral, por lo que decidimos abordar un subtema sobre el cual estuvimos trabajando hasta terminar los cursos de investigación. Hay programas doctorales que no están estructurados en “materias”, y en ellos desde el momento en que se logró la contribución y se escribió la tesis ya se puede pasar a la defensa, aunque la universidad puede especificar un tiempo mínimo de residencia, por ejemplo tres años, aunque la contribución original se hubiera obtenido en un tiempo menor.

Es evidente que los problemas que tiene quien ya obtuvo un resultado sustancial son el tipo de problemas que quiere uno tener, y no al contrario, caer en la situación del alumno doctoral algo perdido en la exploración de rumbos que no van dando resultados mientras el tiempo transcurre. Puede uno preguntarse de quién (el asesor o el alumno) es la culpa de que éste último ande sin rumbo en un doctorado interminable; los roles de la mancuerna asesor-alumno son discutidos en el capítulo 3 de este libro.

De entrada podemos ver que mientras en el caso del alumno es (generalmente) el primer doctorado que hace en su vida, el asesor experimentado tiene una perspectiva mejor, adquirida por haber obtenido su propio doctorado, por la experiencia con sus propios alumnos, en los comités de tesis en que ha participado como sinodal, así como en la revisión de artículos para conferencias y revistas, todo lo cual le puede permitir ver cuál es la “veta” de investigación más prometedora, y también saber identificar la semilla de una contribución original cuando ve una.

Reconocemos que en algunos (pocos, espero) casos no fue posible llevar a cabo una estrategia de dirección que pudiera sacar al alumno de su estancamiento y le permitiera entrar a la fase convergente o de cierre. Un alumno en particular, a pesar de su arduo trabajo, no logró conseguir una contribución original que permitiera pasar a la etapa de cierre del doctorado (el cual nunca terminó), lo cual todavía lamentamos (y desde luego tuvo peores consecuencias en el alumno). En otro caso, una alumna de doctorado estaba trabajando en una línea de investigación que veíamos algo estancada, y se le propuso, durante su segundo año de doctorado, hacer un cambio a un tema relacionado pero diferente. Inicialmente la reacción de la alumna fue de mucha contrariedad, pero podemos decir, dado el gran éxito que obtuvo en el tiempo que siguió (con premios al mejor artículo de alumnos en conferencias internacionales), que fue una apuesta completamente acertada, y fue una gran satisfacción el haber contribuido (en ese caso) al éxito de un alumno.

Un aspecto a considerar en las etapas de doctorado es el que se refiere a estancias de investigación en universidades distintas al programa doctoral que se cursa, y de preferencia en el extranjero. Algunos programas doctorales tienen como requisito obligatorio de graduación el haber realizado una estancia internacional por al menos un semestre, para lo cual es importante que el asesor de tesis cuente con contacto y alianzas académicas que le permitan al alumno adquirir la experiencia de una inmersión en un ambiente de investigación diferente al de su propia universidad. La experiencia de la estancia internacional puede ser de mucho valor para el alumno, por la exposición del alumno a un conjunto de prácticas y estándares de investigación que pueden ser bastante distintas que las de la institución donde hace su doctorado. En el caso de los alumnos asesorados por los autores del presente capítulo, estos han podido realizar estancias de investigación típicamente al final de la etapa divergente e inicios de la etapa convergente.

Pasos de las etapas divergente y convergente

En resumen, la etapa divergente comprende los siguientes pasos:

1. Admisión al programa, ya sea directamente o con maestría
2. Elección de asesor y tema (eventualmente tentativos)
3. Revisión del estado del arte en el tema

4. Elaboración de propuestas tentativas de solución y eventualmente experimentación exploratoria, que muchas veces trae a colación temas que hay que incorporar a la revisión del estado del arte, iterando en consecuencia.

Tras conseguir un resultado original sólido que puede considerarse la contribución central del doctorado, hay que hacer trabajo de la etapa convergente, con los pasos:

1. Realización de trabajo generalmente experimental que permita consolidar la validez y generalidad del resultado original.
2. Escritura del resultado original en forma de artículo, y eventualmente someterlo a publicación en una conferencia arbitrada o revista.
3. Expansión del escrito del punto anterior a la tesis completa.
4. Defensa de la tesis

En la realidad no son pasos estrictamente secuenciales, y hay bastante traslape e iteración entre los puntos 1 a 3.

No vamos a considerar en este capítulo cuestiones de detalle de los pasos, pues se tratan en otros capítulos, como por ejemplo la escritura de la tesis en sí, que viene en el capítulo 6. El presente capítulo simplemente ha presentado una perspectiva sobre cuándo y cómo pasar de la etapa divergente al inicio de la tesis a la etapa convergente o de cierre, tras la obtención del resultado original.

Referencias:

[1] David Chapman (editor), “How to do Research at the MIT AI Lab”, Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory, AI Working Paper 316, October 1988.

Capítulo 3

El asesor y el tema de tesis

Dr. Jesús Favela

Dos de las decisiones más importantes a tomar en el proceso de obtener un doctorado son la selección del asesor y del tema de tesis. Son dos decisiones que no son del todo independientes. En general decidir sobre una condiciona la segunda. Es decir, seleccionar un asesor restringe el espacio de temas a abordar a las áreas de especialidad y competencia del asesor y seleccionar un tema nos debería llevar a buscar a un asesor con competencia en el tema, lo que a su vez nos llevaría a seleccionar la institución en donde realizar los estudios doctorales. No es recomendable seleccionar a un director de tesis sin experiencia en el tema de tesis seleccionado. Pero puede haber excepciones, una sería un asesor interesado en incursionar en el tema y que de muestras de compromiso en hacerlo, la otra sería una circunstancia en la que no hay especialistas en esa área en la institución de adscripción del estudiante y se opta por seleccionar un asesor con cierta afinidad en el tema, pero sin ser un experto en el área. En estos casos se puede optar por la opción de co-dirección, buscando a un co-asesor externo y también existirán oportunidades de intercambiar ideas con otros especialistas en el tema en congresos, consorcios doctorales, cursos y los revisores anónimos de artículos. Pero estas son alternativas que implican riesgos y en lo posible conviene evitar. El doctorado es un ejercicio de investigación independiente en donde la responsabilidad principal recae en el doctorante pero contar con la asesoría de un especialista en el área permite dirigir mejor los esfuerzos. Adicionalmente, nos facilita acceso al equipo, datos, herramientas y en general financiamiento necesarios para abordar el tema.

Aclarada esta importante interdependencia entre ambos temas, procedemos a abordar cada uno de ellos en más detalle.

La selección del tema de tesis

La selección de un tema de investigación es un problema importante no solo para un estudiante de doctorado. Un investigador, a lo largo de su carrera, suele visitar con frecuencia su línea de investigación y reorientarla, abrir nuevas vertientes o incluso en algunos casos cambiarla de forma radical. Para un laboratorio o un centro de investigación resulta crucial actualizar periódicamente sus líneas de investigación para mantener su relevancia e incluso financiamiento. Esto es particularmente importante en áreas como las Ciencias de la Computación que evolucionan con mucha rapidez. Sin embargo, hay que tener cuidado de no basarse demasiado en modas o tendencias que pueden ser pasajeras y mantener cierta estabilidad en los problemas abordados que permitan mostrar la consolidación de una carrera de investigación.

Una pregunta relevante es que tanta libertad tiene un investigador o un estudiante en la selección de un tema de investigación. Puede haber restricciones organizacionales o presupuestales, pero para una tesis doctoral los principales puntos a considerar son tener antecedentes sólidos para abordar el problema en cuestión, la importancia del tema y un genuino interés por el problema. La Figura 1 muestra dos de estas dimensiones que abordaremos con más detalle: La importancia del tema y su complejidad. Con relación al interés cabe resaltar que este principalmente se construye, no es innato. Conforme uno se adentra más en un tema le va tomando cariño y conforme uno se convierte en experto en el área lo que resultaba difícil se suele apreciar aún más.

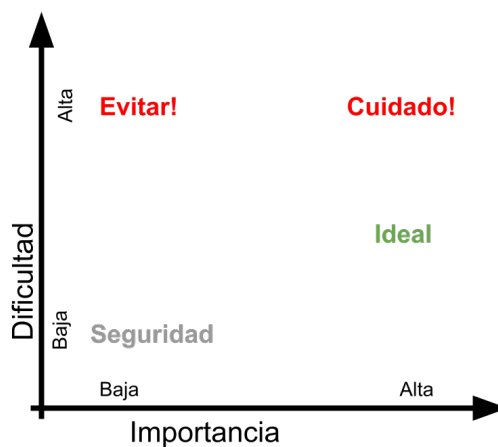


Figura 1. Dos dimensiones para clasificar problemas de investigación: La importancia del tema y la dificultad para abordarlo: baja dificultad y baja importancia dan un tema seguro, pero de bajo impacto; alta dificultad y baja importancia da un tema riesgoso e irrelevante, que es mejor evitar. Lo ideal es un tema de no demasiada dificultad, pero de mucho impacto, mientras que un tema de mucha dificultad y mucha importancia es arriesgado, aunque al tener éxito puede tener alto impacto.

La importancia de un tema de investigación

Es raro encontrar a un investigador que considere que trabaja en un problema poco importante. Lo cierto es que hay algo de subjetividad al valorar la importancia de un problema de investigación y varios criterios o maneras de identificar problemas importantes. A continuación, mencionamos algunos de los criterios que puede utilizar un investigador joven para identificar problemas de investigación importantes a abordar.

Fuentes de financiamiento.

Generalmente problemas de importancia para muchos individuos o de gran impacto social y/o económico son reconocidos por fondos de financiamiento para resolverlos. Estos incluyen fondos estatales destinados a ciencia o de empresas u organismos no gubernamentales. Entre los fondos gubernamentales en Ciencias de la Computación se podrían destacar iniciativas de la NSF o el Departamento de Defensa que han planteado retos en temas tan diversos como sistemas de reconocimiento del habla y autos autónomos. La Unión Europea a través de los programas Marco [1] constituye un ejemplo interesante, ya que en periodos de varios años realizan un ejercicio de selección de temas prioritarios en el que participan representantes de los sectores académico, público y privado. Se definen temas prioritarios y se asignan fondos a cada iniciativa. Algunas de estas iniciativas financian a varios grupos para abordar el mismo problema siguiendo distintas estrategias, y otras promueven la creación de consorcios que aborden el problema en cuestión. Estos proyectos suelen requerir iniciativas de largo aliento y estar fuera del alcance de una tesis doctoral, pero es común que se incluya financiamiento para varios trabajos doctorales y por otra parte las convocatorias suelen ser públicas, lo que permite a cualquiera conocer lo que dichas convocatorias consideran como

problemas suficientemente importantes como para asignarles recursos, que en ocasiones suelen ser cuantiosos.

Problemas abiertos.

Algunos problemas abiertos son muy conocidos y públicos. Generalmente representan problemas complejos que no han sido resueltos en décadas o problemas que responden a una coyuntura en particular. Ejemplos incluyen el premio de 700,000 dólares que recibió Andrew Wiles por probar el “último teorema de Fermat” o llamadas de convocatorias de investigación dirigidas a problemas específicos que hacen fundaciones o instituciones que financian investigación. Un ejemplo reciente fue la carrera por encontrar una vacuna efectiva contra el COVID-19, problema al que se destinaron grandes recursos y fue abordado en forma paralela por varios laboratorios y grupo de investigación resultando en varias soluciones en un tiempo récord. Otro ejemplo interesante es el premio establecido en el siglo XVIII por el gobierno inglés para quien resolviera el problema de estimar la longitud de un navío en el mar. Este problema, narrado por Dava Sobel en su trabajo “Longitude” [3], fue eventualmente ganado por un relojero inglés llamado John Harrison de forma inesperada con su diseño de relojes de precisión basados en engranajes, que a diferencia de los relojes de péndulo de la época podían cronometrar el tiempo con precisión en alta mar. La solución fue sorpresiva porque en su momento se creía que el problema se resolvería a través de la estimación de la posición de estrellas. El premio que eventualmente recibió Harrison equivaldría hoy en día a varios millones de dólares y aunque ahora no parezca mucho para un problema tan importante, ya que la falta de precisión en estimar la ubicación de un navío implicaba pérdidas de vidas y económicas cuantiosas por causa de naufragios, en su momento fue una cantidad muy grande.

Un problema actual en ciencias de la computación consiste en demostrar que problemas NP pueden ser resueltos en tiempo polinomial (¿es $P = NP$ completo?). Problema al que el Clay Mathematics Institute ha asignado un premio de un millón de dólares para quien lo resuelva [4].

Problemas de tal visibilidad, y que no han sido resueltos por muchos años, no son recomendados para un trabajo doctoral, pero estos ejemplos dan una idea de la

existencia de problemas de gran importancia que han sido identificados y a cuya solución se destinan presupuestos igualmente importantes.

Desafortunadamente la investigación tradicionalmente se hace en un ambiente en el que prevalece el género masculino. Luego entonces, los temas de investigación que implican una observación de género, generalmente se realizan por mujeres. Ya seas hombre o mujer, debemos considerar revertir esta tendencia, que minimiza la importancia de que existan puntos de vista diferentes. Temas con perspectiva de género pueden ser, por ejemplo, si las vacunas tienen el mismo efecto en hombres que en mujeres, qué diferencias debe haber en el diseño de aplicaciones de computación cuando se trate de usuarias en lugar de usuarios o la importancia de incluir mujeres en los equipos de desarrollo de software.

Investigadores reconocidos.

Muchos artículos de investigación incluyen, usualmente al final del manuscrito, algunos problemas abiertos que los autores identifican como importantes para dar seguimiento a dicho trabajo. En particular, los trabajos que hacen una revisión crítica de la literatura suelen identificar estas áreas de oportunidad, como también lo hacen artículos explícitamente escritos para proponer la dirección que debe tomar un área. Cuando los autores de estos trabajos son investigadores reconocidos, dicha opinión tiene más peso. Sin embargo, hay que ser precavidos, ya que aún investigadores de prestigio pueden tener un sesgo hacia los campos que ellos trabajan. Es recomendable entonces contrastar varias opiniones para tener una mejor perspectiva sobre el tema.

Por otra parte, lo que es importante hoy puede no serlo mañana. Un ejemplo interesante en Ciencias de la Computación es el de las redes neuronales. Si bien su historia se remonta a los años 40 con el modelo de neurona de McCulloch-Pitts, el área crece de manera modesta por varios años y sufre un contratiempo con la publicación en 1969 del libro “Perceptrons” de Minsky y Papert [2], en el que los autores correctamente establecen las limitaciones de perceptrones de una capa en no poder resolver problemas de clasificación no lineales. Esto inicia un periodo de poco financiamiento al área, mientras otros campos de la inteligencia artificial florecen. Cuando a mediados de los 80s se populariza el algoritmo de retropropagación, que permite el aprendizaje en redes multicapa inicia un periodo de gran desarrollo e

interés en el área, que unos años después decae ante el mejor desempeño, en muchos problemas, de algoritmos “tradicionales” de aprendizaje de máquina. La historia vuelve a dar otra vuelta cuando a fines de la primera década de este siglo la creciente disponibilidad de datos y avances en hardware, notablemente el uso de GPUs, hacen factibles las redes neuronales profundas que muestran un gran desempeño en la resolución de una gran variedad de problemas. Nos encontramos actualmente en un nuevo periodo de florecimiento de las redes neuronales. Para algunos esto sería una indicación de que es una buena área para considerar como tema de tesis doctoral, pero otros sugerirían tener precaución de no centrarse en un área que podría estar saturada y ser muy competitiva.

La dificultad del tema de investigación

Una segunda dimensión para considerar es la dificultad del tema de investigación a abordar. Los estudiantes novatos solemos cometer el error de pensar que una tesis doctoral debe involucrar la solución de un problema muy complejo y podemos cometer el error de enfocarnos más en la complejidad del mismo, que en su importancia. Un caso extremo es pensar que si otros tienen dificultad en entender el problema que pensamos abordar es que vamos por buen camino. Es un error común que debe ser evitado.

Un trabajo doctoral debe ser un proyecto acotado que pueda ser completado a satisfacción en un tiempo de 3 a 4 años con dedicación de tiempo completo por un estudiante competente en el área. Si bien un estudiante de doctorado al presentar su propuesta suele preocuparse por “¿Es el problema suficientemente complejo?”, el comité que evalúa la propuesta suele estar más concentrado en preguntarse “¿Es el problema factible de ser resuelto en el tiempo indicado?”. En este sentido un buen referente es revisar tesis doctorales recientes en el campo de interés.

Revisa el tipo de tema que vas a investigar para considerar el esfuerzo que debes invertir al inicio de tu investigación:

- a) Temas investigados, que están estructurados y formalizados, de los cuales puedes encontrar un mayor número de documentos formales que reportan los resultados de investigaciones anteriores;
- b) Temas investigados, pero menos estructurados y formalizados, tal que, puedes encontrar sólo algunos documentos escritos y otros materiales que reporten

esta investigación; en este tipo de investigación, el conocimiento puede estar disperso o no ser accesible;

- c) Temas poco investigados y estructurados, por lo tanto, es muy probable que encuentres escasamente documentos reportando lo que se ha investigado;
- d) Temas no investigados.

Entre menos investigados estén los temas, se requiere mayor esfuerzo en encontrar información relacionada con el tema o no esté fácilmente accesible para identificar el estado del arte.

Idealmente uno abordaría en la tesis doctoral un problema que sea de baja complejidad y a la vez de mucha importancia. Muchos de estos problemas sin embargo ya habrían sido resueltos y será necesario seleccionar un problema menos importante y/o más complejo. Preferentemente acotando la complejidad a los recursos de tiempo con que se cuenta y buscando maximizar la importancia del problema.

Es importante destacar que la investigación es un camino y no un destino. El desarrollo de un proyecto de investigación es más propenso a tener desviaciones y cambios que el de un proyecto de ingeniería. Un problema puede resultar mucho más complejo de lo esperado, nuevas oportunidades no previstas pueden hacerse evidentes en el camino y otros grupos trabajando en la misma área pueden tener resultados que afecten nuestro trabajo. En este sentido el estudiante de doctorado, como cualquier investigador, debe estar abierto a esos cambios, aprovechar las oportunidades que se abren y mitigar los riesgos asociados a las dificultades no previstas.

Uno puede pensar que a lo largo de su carrera de investigación se va a abordar un solo problema de investigación. No es así. Las áreas de interés cambian, los campos evolucionan, los intereses de un investigador también.

Una pregunta común es qué se hace primero, el acuerdo con el investigador que será el asesor de tesis o la selección del tema de tesis. Aunque los procedimientos cambian según las distintas instituciones, podemos decir que en principio es muy mala idea “inventar” un proyecto de investigación que nos parece fascinante y luego tratar de encontrar un asesor que acepte dirigir dicho proyecto. Es mala idea por varias razones:

1. Las ideas inventadas por el alumno, aunque no necesariamente son malas, tienden a generar proyectos aislados, en que el alumno no interactúa con otros tesis.
2. Aunque el asesor haya aceptado dirigir la tesis, el alumno no apoya los proyectos que ya tiene el investigador, y entonces la dirección de tesis se vuelve una carga en vez de un apoyo para el investigador, el cual tiende a perder el interés.
3. El impacto del proyecto, por ser aislado, es mucho menor que cuando la tesis contribuye con un aspecto de un proyecto grande y de impacto.

En realidad, la elección del proyecto de tesis y el asesor son dos aspectos de lo mismo, y no debe abordarse como una imposición ni por parte del asesor ni del alumno, sino que es una negociación en que tratan de alinearse los intereses de cada parte, y en la medida en que esto se logra, el doctorado tendrá más probabilidades de éxito y su impacto en la futura carrera profesional del alumno será mayor.

A continuación, damos un par de “tips” que puede mejorar la planificación del esfuerzo y compaginación con actividades que puedan estar teniendo a la par del doctorado en caso de tener familia o planes para iniciar una familia.

- 1) No buscar un tema por moda, buscar un tema que te apasione.
- 2) Haz un análisis autocrítico del tiempo real que puedes dedicarle a la investigación, teniendo en cuenta si tienes un mayor número de actividades o compromisos, y más aún si tienes hijos o estás pensando en tenerlos en un corto o mediano plazo.

La selección de un director de tesis

Hay varios aspectos por los que el alumno va a consultar con un asesor la posibilidad de que sea su asesor de tesis:

1. Los proyectos que tiene, su línea de investigación
2. Su estilo de dirección de tesis y la relación interpersonal con el tesista.
3. Los apoyos adicionales que puede brindar el grupo de investigación.

La línea de investigación de cada asesor

Como mencionamos anteriormente, el alumno no debe inventar proyectos por su cuenta, sino consultar las líneas de investigación y proyectos de los investigadores de la institución. Esto puede hacerse de muchas formas, incluyendo la consulta de páginas web, platicando con otros alumnos que ya están haciendo tesis en distintos equipos o incluso doctores egresados que hicieron tesis con ese asesor, o teniendo entrevistas personales con los asesores potenciales.

La entrevista personal con el asesor potencial obviamente no puede omitirse porque hay que hacer el acuerdo verbal con el mismo. Tampoco hay que subestimar el potencial de proyectos que puede surgir en la misma entrevista, pues hay cosas que no van a aparecer en ninguna página web o documento, como por ejemplo un proyecto que apenas se está gestando, o una idea que propone el asesor al ver el tipo de cosas que ha hecho el alumno en el pasado, o hasta ideas que traiga el alumno mismo (ojo, no proyectos en detalle, que ya comentamos, sino ideas generales).

El alumno normalmente se entrevista con los investigadores que trabajan en temas más afines a los intereses del estudiante, pero es muy difícil saber de antemano qué entrevista desembocará a un acuerdo de tema de tesis bien alineado con los intereses del asesor y el alumno, por lo que es recomendable reunirse con varios asesores. También está el aspecto de la relación personal entre alumno y profesor, si hay ese “click” que hace que ambos se sientan a gusto trabajando juntos, lo que vamos a comentar más adelante.

Muchas veces los asesores tienen varios proyectos (no necesariamente parecidos) y el alumno escoge alguno de ellos. Por ejemplo, Larry Page –el fundador de Google– platicó que cuando se entrevistó con Terry Winograd, éste le propuso dos temas: investigar la estructura del conjunto de páginas web, o bien tomar un aspecto de la conducción de carros autónomos. Dichos temas tan distintos tuvieron a Larry Page sopesando agónicamente durante una semana cuál sería mejor, y al fin le comunicó a Winograd que tomaría el del web, con los resultados que todos conocemos. Aunque Page interrumpió su doctorado, el proyecto tuvo un impacto enorme en el mundo, que no sería lo que es hoy sin esa tesis.

El estilo de dirección de tesis del asesor

Un aspecto del que pocos aspirantes a tesistas están conscientes es que hay estilos de dirección de tesis muy distintos, y no todos se adaptan igual al estilo de trabajo en que el alumno es productivo.

En efecto, los estilos de dirección de tesis incluyen:

- Supervisión cercana o de contacto eventual;
- El asesor propone soluciones y el alumno implementa,
- El asesor propone problemas abiertos y el alumno busca soluciones.

En el estilo de supervisión cercana, el asesor está continuamente monitoreando el avance de cada alumno, y les pide reportar avances continuamente. Las metas a corto plazo se acuerdan en cada reunión ya sea grupal o individual. Este estilo se adapta a alumnos que tienen dificultades para organizar su trabajo y que se sienten inseguros y aislados cuando no ven al asesor frecuentemente. En cambio, puede ser sofocante para alumnos que prefieren la independencia y organizarse por sí mismos.

En el estilo de contacto eventual, o de “dejar hacer” al alumno, una vez que se acuerda una meta a corto plazo en relación grupal o individual, el alumno tiene la responsabilidad de avanzar en su trabajo hasta conseguir la meta o constatar que hay un obstáculo, y en este último caso, contacta al asesor para entrevistarse.

Un punto delicado, sobre todo en el estilo de asesoría de “dejar hacer” es qué pasa si en un momento el alumno se da cuenta de que no ha tenido contacto con el asesor en meses, y se siente algo solo y perdido. Hay que dejar muy claro que la iniciativa la lleva el alumno, y si no se ven por meses es que el proyecto avanza sin inconvenientes, o bien que el alumno se atoró, pero le da vergüenza presentarse en esas condiciones con el asesor, y el consecuente retraso va a ser responsabilidad del alumno. Obviamente en el caso de que haya reuniones periódicas (grupales o individuales), ambas partes tienen la responsabilidad de presentarse puntualmente a la hora y día convenidos. Si el asesor no se presenta a reuniones convenidas, o no contesta correos del alumno, éste tiene el recurso de consultar al director del programa doctoral; no se trata de hacer un pleito, sino de resolver una situación que debe ser resuelta.

Te sugerimos dos “tips” relacionados con la elección de asesor:

1. Buscar asesores que tengan una revisión continua, esto te ayudará a tener un avance constante a lo largo del desarrollo de tu tema de investigación.
2. Date el tiempo de investigar sobre experiencias de los doctorandos anteriores, ¿terminaron en tiempo? ¿fueron apoyados por el tutor? ¿han realizado el doctorado solos, los ha acompañado en todo momento?

Cada alumno debe conocerse lo suficiente como para saber qué estilo de dirección de tesis es el mejor adaptado para su caso. No hay un estilo correcto o incorrecto, pero enrolarse con un asesor de un estilo inadecuado para uno es garantía de años de trabajo poco satisfactorio y eventualmente hasta abandono del doctorado.

Los apoyos adicionales

Hay asesores que cuentan con recursos tales como espacios, equipos computacionales, presupuesto para asistir a conferencias, etc., que están asociados a proyectos científicos que manejan, como por ejemplo proyectos de Ciencia Básica del CONACyT, etc. Sobra decir que, en esos casos, si el alumno quiere recibir dichos apoyos, su trabajo de tesis debe estar enmarcado en el proyecto al que se asocian los apoyos. El alumno debe considerar si el proyecto en cuestión es digno de alterar un poco (o mucho) lo que de otra forma hubiera sido su proyecto favorito.

La relación personal

La asesoría de tesis es una relación de trabajo, pero por lo mismo requiere una relación personal de respeto, pero también fluida y productiva. El alumno y el asesor deben sentirse a gusto trabajando juntos, pues van a estar haciéndolo por años; deben tener el “click” difícil de definir, pero fácil de identificar que mencionamos anteriormente.

Al contactar al asesor y hablar con él, el alumno debe siempre tratar de ser franco y directo, pues cualquier malentendido, si tiene consecuencias negativas para el avance de la tesis, va a ser perjudicial sobre todo para el alumno, pues su doctorado está en juego. Hay que superar la timidez o “pena”, y desarrollar una relación franca de respeto profesional. El asesor también debe respetar al alumno como persona y como profesional en formación, y no es aceptable que muestre actitudes de

despotismo o arrogancia. Cualquier situación de relación personal que no pueda arreglarse directamente con el asesor debe consultarse con el director del programa doctoral, pero en ningún caso debe permitirse que perjudique el avance de la investigación de tesis.

Referencias:

[1] Programas Marco de la Unión Europea (página web)

https://ec.europa.eu/eurostat/cros/content/research-projects-under-framework-programmes-0_en

[2] S. A. Papert, M. Minsky, *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*, MIT Press, 2017.

[3] D. Sobel. "Longitude: The true story of a lone genius who solved the greatest scientific problem of his time." *Academy of Management Learning and Education* 3 (2004): 220-220.

[4] Clay Mathematics Institute (página web)

<https://www.claymath.org/millennium-problems/p-vs-np-problem>

Capítulo 4

Volviéndose rápidamente un experto en el tema

Dr. Ramón Brena

Qué es relevante explorar y qué es solo gasto de tiempo.

Un doctorado involucra avanzar el estado de conocimiento universal (no únicamente el de la institución o el del país del tesista doctoral) sobre el tema sobre el que se está haciendo la tesis (la cuestión de los temas de tesis es discutida en el capítulo 3). Esto implica que, en primer lugar, el estudiante tiene que ponerse al tanto de cuál es el conocimiento disponible en la actualidad sobre el tema, esto es, cuál es la “frontera” del conocimiento. Y “ponerse al tanto” no es únicamente tener noticias de qué han podido hacer otros investigadores, sino también comprender en detalle lo que han hecho y sus métodos. Esto puede parecer bastante retador; la mala noticia es que en realidad es bastante retador.

Aunque en principio el asesor de la tesis es un experto en el tema de ella, no necesariamente lo es en todos los aspectos que implica. Por ejemplo, si la tesis es sobre medición de multitudes de gente usando señales de WiFi, y el asesor es experto en telecomunicaciones, posiblemente no conozca todos los trabajos que hay sobre medición de multitudes de gente, y aún si tiene un conocimiento general de los métodos para hacerlo usando WiFi, puede no haber entrado en los detalles.

Lo normal (y de hecho lo esperado) es que cerca del final del doctorado, el alumno tenga un dominio del tema específico mayor que el de su propio asesor, y que se encuentre entre las pocas decenas de investigadores con mayor conocimiento de dicho tema. Además, el estudio de lo que han hecho otros investigadores es sólo la primera parte, mientras que el desarrollo de su propio trabajo (muchas veces

experimental) es la segunda parte en el trabajo de convertirse en un verdadero experto en su tema de tesis.

Al menos en el caso de las tesis doctorales en computación, el conocimiento del tesista sobre su área de estudio no es “general”, sino extremadamente enfocado al aspecto en el que va a expandir la frontera del conocimiento.

La distinción que estamos haciendo entre el conocimiento general de un área y el conocimiento más especializado puede ilustrarse en un diagrama con círculos concéntricos, como en la figura siguiente:



Figura 4.1: Conocimiento general y conocimiento especializado

Obviamente ninguna tesis tiene que lidiar con el conjunto del conocimiento humano, pero al ubicar de qué se trata un trabajo de tesis, hay que empezar estableciendo un área general, y luego delimitando ésta hasta llegar a un área muy especializada que incluye unos cuantos trabajos con los que compete el que se desarrolla en la tesis. Siguiendo el ejemplo de una tesis sobre medición de grupos de gente usando WiFi, hay un área general sobre telecomunicaciones y uso de señales de radiofrecuencia, pero el trabajo va a relacionarse con el estudio de perturbaciones en la señal de WiFi por el cuerpo humano, así como el uso del espectro Doppler y otros detalles técnicos. Eventualmente se tendría que revisar también el uso de sistemas de aprendizaje automático para analizar dichas perturbaciones. Este

ejemplo muestra una situación que no es inusual, en la que se tienen varias áreas de conocimiento que confluyen en un trabajo dado, y hay que hacer una descripción de cómo se ubica el trabajo de tesis dentro de cada una de estas áreas. Lo que es más importante es entender que el área de más detalle se debe revisar a profundidad, mientras que las áreas más generales sirven sobre todo para ubicar el dominio del conocimiento en que se ubica el trabajo.

Inclusive las fuentes en las que se consulta la información no son las mismas para las áreas de conocimiento general y para conocimiento específico:

- El conocimiento general se consulta en libros, en los que viene información y conocimiento bien establecido. La fecha de publicación del libro no tiene que ser de los últimos dos años, pues se entiende que las áreas generales de conocimiento datan de más años.
- El conocimiento especializado se consulta en artículos de investigación, y es importante conseguir artículos lo más recientes posibles para asegurar que la tesis será una contribución al conocimiento actual y no al conocimiento que había hace unos años.

Errores frecuentes

La búsqueda de la investigación de frontera en el tema de tesis no es una cuestión trivial, y yo personalmente he visto dos errores que algunos alumnos cometen en esta recopilación de información:

1.- El alumno incluye demasiados temas, algunos de los cuales tocan sólo marginalmente el problema cuya solución se pretende investigar. La investigación documental debe ser eficiente, y por ello debe estar enfocada únicamente a los aspectos que se van a investigar.

2.- El alumno no considera en absoluto una enumeración de los temas que permiten delimitar el área de estudio. Por ejemplo, si la investigación de la tesis es sobre la medición de multitudes de gente usando en forma pasiva señales de WiFi, se debe averiguar y tomar nota y fuentes bibliográficas de los métodos de medición de multitudes de gente que no usan WiFi (como por ejemplo el registro de densidad de usuarios en celdas de señal de celular del que disponen las empresas proveedoras de servicio celular), o bien los métodos que usan WiFi pero en otra forma, como por

ejemplo contando la cantidad de direcciones IP detectadas en el entorno cercano, y usando un factor que considere qué porcentaje de personas llevan celular con el servicio WiFi habilitado. Delimitar correctamente el área de estudio, indicando de qué se trata y de qué no se trata, es vital para definirla correctamente.

3.- El alumno no se siente seguro de haber estudiado lo suficiente lo que se ha hecho en el área, y por este temor termina invirtiendo años en investigación bibliográfica, pues las referencias de un artículo llevan a otros artículos, y esto puede ser un cuento de nunca acabar. La investigación bibliográfica debe ser acotada en la cantidad de trabajo revisado, el tiempo invertido y el punto de avance en que debe el alumno estar avanzando en su investigación.

He visto casos en que la prolongación excesiva de la investigación bibliográfica se deriva principalmente del temor por parte del alumno, ya sea de haberse saltado un trabajo importante, o bien el miedo de empezar su propio trabajo, pues no hacemos errores hasta que hacemos trabajo propio.

En cualquier caso, es pertinente apoyarse en el asesor para evitar los problemas arriba mencionados en la investigación documental, pues en general es la primera vez que el alumno hace tal investigación a nivel doctoral (que no es igual a una de maestría, ver capítulo 1), mientras que un asesor experimentado ha colaborado en las investigaciones documentales de varios alumnos, y eventualmente ha visto los errores en que es posible caer.

Hay varios métodos para realizar una investigación documental, que se describen a continuación.

Estudios bibliográficos sistemáticos

Los estudios bibliográficos sistemáticos permiten contestar de una forma objetiva la pregunta: “¿qué artículos incluimos y citamos y cuáles no?” En efecto, esta pregunta es en otros tipos de estudios contestada en forma subjetiva, con base en la suposición “vamos a incluir los trabajos más relevantes”, donde la “relevancia” es en cierta medida subjetiva y depende mucho de la apreciación del área de los autores. Aun siendo los autores verdaderos expertos, es difícil evitar cierto sesgo hacia ciertos trabajos, por ejemplo, los que se asemejan o apoyan los suyos propios. En cambio, en los estudios bibliográficos sistemáticos se delimita la colección documental que se toma como base, así como los términos de búsqueda (“query”) y

rango de tiempo que se usan para localizar artículos de investigación, y finalmente los criterios de pertinencia que van a ser evaluados uno a uno por los investigadores en cada artículo. Sobra decir que este tipo de métodos son muy costosos en tiempo invertido y además en ocasiones omiten publicaciones claves en un área dada (en casos extremos, los trabajos de mayor influencia en un área ni siquiera son artículos publicados en revistas indizadas), pero su naturaleza sistemática permiten su reproducibilidad, y los cuestionamientos que pueden recibir no pueden ser del tipo “faltó mencionar el trabajo X del investigador Y” (que frecuentemente usa el investigador Y, que es revisor del artículo, para promover citas a sus propios artículos), pues si la referencia mencionada no cae en el término de búsqueda, esto es una explicación irrefutable. Lo que puede cuestionarse es el término de búsqueda en sí, o el rango de tiempo, o los criterios de pertinencia, pero no la inclusión de un trabajo en particular.

En cuanto a la colección que se toma como base para el estudio, éste puede estar restringida a los artículos publicados en revistas indizadas por algún servicio bibliográfico reconocido, tal como Scopus o bien “Master Journal List” de Clarivate, pero en áreas donde no abundan los trabajos reportados, puede ser necesario ampliar a artículos en conferencias indizadas y/o tesis de posgrado. Pueden incluirse monografías (libros) o no, dependiendo del propósito del estudio. De una manera general, los libros describen áreas que están bien definidas y consolidadas, por lo que son útiles más para estudiar lo que ya es bien conocido que lo que ha sido recientemente propuesto o descubierto.

Muchos estudios bibliográficos presentan las nociones centrales de la disciplina apoyándose en libros, pero a la hora de examinar la frontera del conocimiento, se apoyan en artículos de investigación, y de preferencia recientes (el rango de tiempo también puede ser un criterio importante, dependiendo del área de estudio).

La forma de hacer un “query” adecuado tampoco está plenamente establecida, y es un arte más que una ciencia. Se puede pedir que el título incluya alguna palabra en particular, o alguna de una colección de palabras, o al menos dos palabras de la misma, etc. También se pueden incluir criterios relacionados con las palabras clave. La forma de combinar los distintos criterios puede ser mediante conjunción (se deben cumplir ambos criterios) o disyunción (es suficiente con que cualquiera de

ellos se cumpla); obviamente la primera combinación es más restrictiva que la segunda y entregará un conjunto más pequeño de artículos.

Muchas veces hay que ensayar varios “queries” distintos hasta encontrar un conjunto de reportes que sea suficientemente específico (esto es, que no incluya muchos trabajos no relacionados) y que tenga un tamaño razonable respecto a las metas y recursos del equipo que realiza el estudio.

Un ejemplo de cómo definir la bibliografía incluida es el siguiente:

- Base considerada: ACM digital library
- Universo bibliográfico: Artículos de revista en la base con FI (factor de impacto) de al menos 1 (no libros, no Tesis, no artículos de conferencia).
- Tiempo: a partir de 2005 hasta la actualidad.
- Palabras clave: incluir “location” e “indoor” en cualquier parte del artículo.
- Criterio de relevancia: Que con la lectura del resumen del artículo, se pueda determinar sin lugar a dudas que el artículo se trata de localización geográfica en el interior de edificios.

Hay revistas que no reciben trabajos sobre revisión del estado del arte en un tema específico si no están hechos como un estudio bibliográfico sistemático (ver más adelante la cuestión de publicar un estudio del estado del arte).

Otros criterios y métodos para una investigación documental

Usar una combinación de otros criterios de validez del estudio, tales como el dominio del tema del asesor (quien puede ser autor de un libro reconocido sobre el tema), o bien el uso de lo que llamaremos “punto de saturación” en las referencias, que consiste en continuar incorporando artículos relevantes al área en cuestión, así como las referencias de dichos artículos hasta que un porcentaje predeterminado (por ejemplo, 60%) de las referencias de los nuevos artículos inspeccionados caigan en la colección de artículos ya inspeccionados, o sea que tiene un punto de saturación del 60%. Desde luego, todo lo que no sea un estudio bibliográfico sistemático cae en un terreno más contencioso que los que sí lo son, y hay muchos aspectos potencialmente cuestionables, pero eso no impide que haya muchas revisiones

bibliográficas no sistemáticas de muy alta calidad, publicadas en revistas que no tienen el requisito mencionado, y que actualmente son la mayoría.

Más adelante discutiremos las características y estructura (más allá de si es un estudio bibliográfico sistemático o no) que debe tener un reporte del estado del arte en un tema de computación.

Aprovechando para publicar un “survey”.

Muchos de los doctorados en computación (tanto en México como en otros países) incluyen un requisito de publicación de resultados en revistas indizadas. Este requisito no es arbitrario, pues implica que el trabajo del estudiante de doctorado ha sido avalado por pares académicos en la comunidad científica fuera de la institución donde estudia. Ahora bien, una forma de avanzar en el requisito de publicación de artículos académicos es publicando la revisión bibliográfica que de todas maneras tiene que hacer el alumno para su tesis. Claro que llevar a cabo la publicación implica un trabajo adicional, que incluye elaborar el escrito en formato de artículo, enviarlo a una revista adecuada, eventualmente enfrentar el rechazo o atender las correcciones que piden los revisores, etc., pero considero que todo este trabajo adicional es una buena inversión. En primer lugar, es una manera de validar, con la ayuda de revisores externos, que la etapa de revisión bibliográfica se hizo adecuadamente. En segundo lugar, como comentamos anteriormente, el alumno cumple con el requisito de hacer su primera publicación relacionada con su trabajo doctoral. Y finalmente, las revisiones del estado del arte son en general el tipo de artículo que recibe una mayor cantidad de citas porque son de gran utilidad para otros investigadores, los cuales usan este tipo de artículos como una forma rápida de conocer lo que existe en un área determinada.

Un tipo específico de revisión bibliográfica es el que hace referencia a la evolución de cierta área, no tanto a lo que hay ahora mismo. En este tipo de reportes, típicamente hay un resumen histórico de los progresos en el área, así como una sección donde se presentan y argumentan las tendencias y eventualmente se propone una probable predicción de cómo continuará dicha evolución. Un gran ejemplo de revisión bibliográfica es el artículo de P. Hudak sobre la evolución de la programación funcional [1]; otra referencia que conozco más de cerca es “Evolution

of Indoor Positioning Technologies: A Survey” de Brena et al. [2]. Más adelante presentaremos ejemplos basados en estos dos estudios.

Hay que reconocer que elaborar un reporte de investigación bibliográfica de alta calidad sobre un área no es una labor trivial, y el estudiante doctoral debe estar consciente de qué es lo que diferencia un buen artículo de “survey” de uno malo. En los párrafos siguientes vamos a presentar tanto la estructura típica de un artículo de revisión del estado del arte como los criterios que debe cumplir cada parte de este, y los errores comunes en que es posible caer.

Estructura aproximada de un artículo de revisión del estado del arte

Más que dar un orden de puntos a tratar en este tipo de artículos, a continuación, presentamos el propósito que debe cumplir cada una de las secciones. Un error que se comete frecuentemente al escribir un artículo es no tener en cuenta el propósito que debe cumplir cada sección, para así saber cuándo una sección se debe dar por concluida, lo cual nunca debe ser cuando uno ya no tiene más que decir, sino más bien cuando ya se cumplieron los objetivos que debe cumplir la sección que se está escribiendo.

Los elementos de una revisión bibliográfica son los siguientes (no necesariamente en ese orden, ni con ese nombre):

- 1.- Motivación al estudio del área, y delimitación de esta.
- 2.- Definiciones, conceptos y terminología del área.
- 3.- Criterios de clasificación de los distintos trabajos existentes.
- 4.- Revisión propiamente dicha de los trabajos existentes, siguiendo la clasificación del punto anterior.
- 5.- Discusión, comparación y eventualmente identificación de tendencias.

Ahora vamos a detallar brevemente cada uno de los puntos anteriores. No vamos a incluir en esta discusión puntos que debe considerar todo artículo de investigación, como el resumen (“abstract”), las palabras claves, la descripción de la estructura del resto del artículo al final de la introducción, el reconocimiento de apoyos recibidos, la bibliografía, etc., pues aquí nos vamos a centrar en lo que específicamente debe tener una revisión del estado del arte.

Motivación al estudio del área, y delimitación de esta

Lo primero que tiene que justificarse es la necesidad de hacer el estudio en cuestión. Esto tiene que ver tanto con la importancia que tiene el área, como con la ausencia de otros reportes de revisión del estado del arte con las características que uno requiere, como puede ser: que no existe ningún artículo de revisión del área en cuestión, o que el último artículo de revisión es demasiado antiguo y han sido incorporados muchos conocimientos desde entonces, o que las otras revisiones no son satisfactorias por alguna razón que uno explica (como por ejemplo, que son incompletos, o que no ofrecen criterios de clasificación de los trabajos, etc.). En el artículo de Brena et al. se ofrece toda una sección (sección 2) para discutir las limitaciones de los otros estudios del área.

Un error común en este tipo de artículos en que caen los investigadores novatos (y a veces los otros), es que dan por hecho que se necesita el artículo que preparan, y nunca justifican su necesidad.

Generalmente la justificación del artículo de revisión viene en la sección de introducción, la cual puede llamarse así o de otra forma, pero el punto es que debe cumplir con la justificación que mencionamos anteriormente.

Otro aspecto importante que debe incluirse en las secciones iniciales del artículo es la delimitación del área que se estudia. Esto no debe darse por sobre entendido por el título del artículo, sino que debe explicarse detalladamente el alcance del estudio que se presenta, tanto en qué incluye como qué no incluye.

Por ejemplo, en el artículo antes mencionado de Brena et al. (que se puede acceder gratuitamente por ser de acceso abierto), los tres primeros párrafos se dedican a justificar la necesidad de ese artículo, tanto en cuanto a la importancia del área (párrafos 1 y 2) como las limitaciones de otros artículos de la misma (párrafo 3). En los párrafos 4 y 5 se delimita el área de estudio.

Definiciones, conceptos y terminología del área

Esta parte del artículo establece un marco conceptual y uniformiza la terminología utilizada, la cual puede variar entre los artículos que se revisan en el estudio. Un error que se comete a veces es, en vez de uniformizar la notación, usar el término que usa el autor original, lo que hace que el lector se confunda pues en diversos artículos se usan términos distintos para referirse a lo mismo. Por lo tanto, hay que ofrecer definiciones de trabajo para este artículo, y traducir, de ser necesario, la terminología de los distintos autores incluidos en el estudio.

En el “survey” de Brena et al. las definiciones y la descripción general de los métodos vienen en la sección 3, que tiene una extensión de más de 7 páginas, necesarias para brindar explicaciones detalladas de cada concepto. Además de ofrecer una terminología uniforme, esta sección tiene para muchos lectores el beneficio de entender los conceptos esenciales del área estudiada, lo cual es una forma rápida de familiarizarse con ella.

Criterios de clasificación de los distintos trabajos existentes

Una limitación de muchas revisiones del conocimiento existente en un área es que no ofrecen una clasificación de los trabajos, que permita ubicar no solo los trabajos citados en el estudio, sino también cualquier otro de dicha área. En el artículo de Brena et al. la clasificación es ofrecida al inicio de la sección 4, y es una clasificación con varios criterios, cada uno de los cuales puede visualizarse como una dimensión en un espacio multidimensional; por ejemplo, un criterio en ese artículo es el tipo de señal utilizada, que puede ser de radio frecuencia, o bien luz, o bien magnetismo, etc. Otro criterio (dimensión) es si el cálculo de la posición se efectúa en el dispositivo que se mueve (en cuyo caso a la localización se le llama “activa”) o bien se realiza en la infraestructura, y se llama “pasiva”. Hay en ese artículo un tercer criterio de clasificación que no discutiremos. Lo importante es que cualquier trabajo puede ser ubicado en este espacio tridimensional (una dimensión por criterio), y de esta forma se puede tener un “mapa” que sitúa cada trabajo como un punto en dicho espacio.

Aunque no hay una “receta” para proponer los criterios de clasificación, sí es importante que permitan incluir todos los trabajos existentes (o sea que sean “comprehensivos”), y eventualmente que no haya demasiado traslape entre ellos (esto es, que sean excluyentes entre sí).

Revisión propiamente dicha de los trabajos existentes, siguiendo la clasificación del punto anterior

El cuerpo propiamente dicho del artículo de revisión es presentar y discutir los distintos trabajos que han contribuido al área en forma sustancial, y hay muchas formas de hacer esto; una de ellas es seguir alguno de los criterios de clasificación del punto anterior. En el artículo de Brena et al. la discusión de trabajos se hace siguiendo el criterio del tipo de señal utilizada (radio frecuencia, sonido, luz, etc.), y ya dentro de cada una se añaden los otros criterios de clasificación a cada trabajo (si usa localización activa o pasiva, etc.)

Discusión, comparación y eventualmente identificación de tendencias

En las secciones finales del artículo (secciones 5 y 6 en el artículo de Brena et al. [2]) se discuten las ventajas y desventajas de cada tecnología o cada tipo dentro del esquema de clasificación, introduciendo criterios específicos para las ventajas y desventajas, como son, en el caso de Brena et al, el costo, la exactitud, y la cobertura. Una buena idea puede ser ofrecer una tabla resumen con esta información (tabla 2 en Brena et al.).

La identificación de tendencias debe discutirse en los artículos que consideran la evolución del área estudiada, como es el caso de Brena et al., artículo que discute este aspecto en la conclusión, aunque se podía haber hecho en una sección especial. Un artículo sobre la evolución del área considerada puede proponer adicionalmente una predicción de cómo se espera que el área se desarrolle en el futuro.

Para publicar un artículo de revisión del estado del arte deben también tomarse en cuenta las características de la revista específica en que se piensa publicar, tales como la extensión, estructura del escrito, etc. Algunas revistas se especializan en publicar artículos de revisión, mientras que otras publican varios tipos de artículos, entre ellos artículos de revisión.

Finalmente, aconsejamos que el título del artículo no sea excesivamente largo (hay estudios que prueban que hay una relación inversa entre la longitud del título y la cantidad de citas recibidas [3]) y que, si se publica en una revista no especializada en revisiones, indique que se trata en efecto de una revisión del estado del conocimiento de un área. En el artículo de Brena et al [2] el título tiene menos de un renglón, incluyendo la aclaración de que se trata de un artículo de revisión y también que se examina la evolución del área.

Referencias:

[1] P. Hudak, *Conception, evolution, and application of functional programming languages*. ACM Computing Surveys (CSUR). 1989; 21(3), pp359-411.

[2] R.F. Brena, J.P. García-Vázquez, C.E. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, J. Fangmeyer, *Evolution of indoor positioning technologies: A survey*. Journal of Sensors. 2017 Mar 29; 2017.

[3] I. Tahamtan, A. Safipour Afshar, K. Ahamdzadeh, Factors affecting number of citations: a comprehensive review of the literature. Scientometrics. 2016; 107(3), pp1195-225.

Capítulo 5

El “Eureka”, el logro del descubrimiento innovador (o su ausencia)

Dr. Carlos Coello

Dr. Ramón Brena

En el capítulo sobre las etapas de un doctorado vimos que hay un parteaguas entre la etapa divergente del doctorado, en que se busca en múltiples direcciones tentativas, y la etapa convergente, en que la investigación tiene una dirección muy enfocada. Dicho parteaguas es el hallazgo de un resultado original, que se encuentra más allá del estado anterior del conocimiento, y que tiene la relevancia suficiente para justificar la realización de un doctorado. El elemento creativo o la chispa de creatividad en el desarrollo de una tesis doctoral es, tal vez, el más difícil de concretar.

En primer lugar, salta a la vista que para encontrar un resultado original uno debe conocer muchas cosas sobre el área estudiada; casi ningún hallazgo ocurre en el vacío por un “chispazo” genial sin bases previas, y esto implica que hay que hacer mucho trabajo, que ya hemos descrito anteriormente en los capítulos anteriores, sobre todo en el 4 (“Volviéndose un experto en el área”).

Otro aspecto importante es cómo incentivar el proceso creativo. Después de trabajar más de 25 años en un área altamente especializada, podemos decir que uno de los elementos clave es que el estudiante tenga un conocimiento exhaustivo sobre su tema. Esto a veces es difícil, pero suele ser posible cuando el tema es muy especializado. Esto requiere un cierto entrenamiento previo (que mis estudiantes de doctorado suelen adquirir en la maestría) y muchas lecturas. A veces, escribir un “survey” también ayuda a identificar áreas de oportunidad y suele llevar a resolver algún problema interesante, aunque no necesariamente el que se planteó

originalmente (esto de desviarse del tema original de tesis es un problema muy frecuente, según mi experiencia personal).

Otra estrategia que sugerimos a los estudiantes es tratar de aprender conceptos de otras áreas de la computación (y a veces, hasta de otras disciplinas), pues eso les da una visión más amplia y motiva ideas interesantes y novedosas.

Por ejemplo, alguna vez, un estudiante investigó un tipo de estructura de datos que se solía usar en graficación para proponer un esquema que se usó para hacer eficiente el almacenamiento de un algoritmo cultural (éste es un tipo de algoritmo evolutivo que extrae conocimiento durante el proceso de búsqueda y lo incorpora en los operadores del algoritmo evolutivo a fin de hacer más eficiente y efectivo el proceso de optimización).

Pero a final de cuentas, la naturaleza creativa del hallazgo original es innegable. En algún momento se requiere que alguien, el asesor o el alumno, tengan una idea creativa sobre cuál es exactamente la contribución. Y dado que no queremos (ni podemos, dado que es un tema de psicología) entrar en el terreno del estudio de la creatividad en sí misma, vamos a suponer que, por razones misteriosas, ya sea el asesor o el alumno pueden hallar la idea creativa o bien no pueden. Los interesados en temas de creatividad pueden revisar metodologías tales como “Design Thinking” [1] y otras [2], que son más usadas en las empresas para el desarrollo de productos “innovadores” que en investigación, aunque no queda claro si esto se debe a la falta de conocimiento de ellas por parte de los profesores en los departamentos de computación o es porque realmente no sean de utilidad. Ciertamente los asesores de tesis (y cualquier persona con formación en pensamiento crítico [3]) tienden a ser más escépticos sobre esas metodologías para el pensamiento creativo que los directivos de las empresas, los cuales por años han usado hasta los métodos más desacreditados en el ámbito científico, como por ejemplo las taxonomías de personalidad “Big five”, Myers-Briggs, etc.

El hallazgo de una idea creativa puede verse como un “cambio de fase” de la materia en la física, como el paso de sólido a líquido o de líquido a gas: el cambio es aparentemente instantáneo (al menos para una pequeña cantidad de materia) y sucede con un pequeño cambio en la temperatura, pero una vez que se logra, el cambio cualitativo es enorme. El hallazgo de la contribución original es por ello el parteaguas del doctorado.

De hecho, el riesgo de que, a pesar de un esfuerzo sostenido por años se haya realizado un trabajo de exploración, estudio y experimentación, no se logre llegar a un resultado original, es real y varios asesores lo conocemos de primera mano. Este es uno de los riesgos que se asumen en el doctorado, y varios alumnos con cara, nombre y apellido han sufrido las consecuencias de no haber concretado el hallazgo de un resultado original sustancial, lo que es una desgracia.

Pero el mayor reto que hemos enfrentado es el bloqueo de un estudiante doctoral. Cierta tesista, que era un estudiante brillante y muy capaz, hizo una tesis de maestría espectacular que obtuvo un premio y que dio pie a un artículo en GECCO (el mejor evento de algoritmos evolutivos del mundo) y a uno de revista. Sin embargo, durante el doctorado, su rendimiento fue bastante mediocre. Sin embargo, resultó muy difícil poder ayudarlo, porque su bloqueo se debía en buena medida a que su padre había fallecido de cáncer y eso lo sumió en una depresión. Al final, en su último año de doctorado, gracias a un plan de emergencia para poder graduarlo, afortunadamente, tuvo éxito (la historia en realidad fue algo mucho más difícil de lo que solemos contar).

Relación del tema de tesis con el alumno que la desarrolla

Una forma práctica de administrar el grado de creatividad necesaria para un tema de tesis dado es evaluar su relación con un tesista específico.

El Dr. Coello, en su experiencia como asesor de 22 estudiantes doctorales, ha visto todo tipo de personas: algunos muy creativos, pero que tienen dificultades para concretar una idea; los que son excelentes estudiantes pero tienen dificultades para proponer ideas nuevas; los que tienen claro lo que quieren hacer, pero no cuentan con la capacidad para llevarlo a cabo. Es claro que con cada uno de ellos, se requiere una estrategia diferente. Por ejemplo, para alguien muy brillante y creativo es buena idea proponer temas desafiantes. Para alguien trabajador pero no muy creativo, es mejor irse por temas más experimentales y que requieran un nivel relativamente bajo de innovación, pero requieren buenas habilidades de programación.

Por ello, siempre hay que tratar que los estudiantes de doctorado trabajen en temas muy específicos y en problemas claramente definidos a fin de reducir el margen de que iteren sin converger. No obstante, aún en estas condiciones, a veces hay problemas.

Es muy importante percatarme de que un estudiante de doctorado tiene muy claro el problema que debe resolver y la forma en la que puede validar sus resultados. Evidentemente, si el problema no está claramente definido, será muy difícil que el estudiante logre aterrizar algo. Aunque esto parece muy obvio, hemos podido ver a colegas que cuentan con tesis doctorales que no entienden bien el problema que están resolviendo.

Por lo anterior, está claro que el saber identificar una idea novedosa es tarea tanto del estudiante como del asesor, pero añadiría que muchas veces, es tarea mucho más del asesor que del estudiante.

Identificación del “Eureka”

Como podemos ver en el último párrafo, no basta con tener una buena idea, es necesario además identificar que dicha idea puede volverse el núcleo de la contribución original de una tesis doctoral. Y ya que en el caso del alumno se trata de la primera tesis doctoral que hace, mientras que el asesor (generalmente) ya ha asesorado varias, éste último está en mejor posición para reconocer si un hallazgo dado del alumno es la semilla de un “Eureka”.

Por ejemplo, el alumno Juan (nombre hipotético) estaba presentando algunos resultados experimentales que había obtenido en una semana de experimentación mediante simulaciones, y de pronto mencionó en forma casual que había incluido en el vector de características del dataset (en el área de Aprendizaje Automático, no queremos ser aquí demasiado técnicos) la transformada de Fourier del registro del magnetómetro, mejorando los resultados. Sorprendido, el asesor le pidió al alumno que repitiera lo que acababa de explicar. Tras reflexionar unos momentos, le comentó el asesor que muy posiblemente había encontrado algo de valor, y que habría que explorar esa veta hasta verificar si realmente era prometedora. La continuación del doctorado mostró (tras la presentación del hallazgo en una conferencia internacional, la publicación de un artículo de revista, etc.) que el hallazgo sí era de valor. Aquí la intervención importante del asesor no fue descubrir ningún método, sino solamente ser capaz de identificar la contribución original valiosa cuando se la ponen enfrente. A partir de ahí ya se pudo pasar en esa tesis a la etapa convergente, de cierre de la tesis.

Pero como humanos que son, los asesores también tienen limitaciones.

A veces, aún el supervisor de una tesis pasa por alto la importancia de una contribución o, por el contrario, se cree que la contribución será muy apreciada por su comunidad y no es así. Consideramos que la capacidad de determinar la valía de una contribución (y no solo lo novedosa que es) es producto de la experiencia, pero al ser un proceso un tanto subjetivo, resulta difícil hacer siempre una valoración correcta.

Hemos vivido las 2 situaciones antes descritas en nuestra carrera: el no valorar correctamente una contribución y el considerar otra muy importante y ver con cierta tristeza cómo es subvalorada por mi comunidad.

Cambios de “Eureka” en plena marcha

Como comentábamos arriba, tener una semilla de contribución original no garantiza que se llegue al éxito en ella; hay ocasiones en que es necesario hacer cambios sustanciales, que solo a posteriori se pueden ver como acertados o fallidos. Ya en el capítulo 2 comentamos un caso en que fue necesario hacer un cambio de rumbo ya en el segundo año del doctorado, lo que parece bastante indeseable, pero que mostró ser necesario y que se coronó con éxito al final.

Otro ejemplo es la tesis de Eduardo (nombre hipotético), en que la idea inicial era usar el número de resultados que arroja Google al hacer una búsqueda (normalmente en el rango de los millones) para evaluar en qué grado varios términos pertenecen al mismo tópico. Por ejemplo, si hacemos una búsqueda con “perro” y “gato” obtenemos muchos más resultados que si buscamos con los términos “audífonos” y “gato”, pues los primeros tienen en común pertenecer al tópico de las mascotas, mientras que los segundos tienen poca relación (salen unos audífonos con orejas de gato, y otras rarezas). Sin embargo, en el transcurso del doctorado de Eduardo fue necesario hacer tantos ajustes a esta idea inicial que al leer la tesis resulta difícil reconocer la pista de dicha semilla.

En resumidas cuentas, no podemos dar una “receta” sobre cómo encontrar una contribución original sustancial que permita concluir el doctorado; solo podemos establecer que es necesario conseguirla, y que esto puede ser más fácil cuando hemos revisado una gran cantidad de trabajos de otros, y explorado experimentalmente algunas ideas potencialmente valiosas.

Un aspecto delicado del “Eureka” es juzgar si una contribución original propuesta (suponiendo, por supuesto, que ya se validó que es contribución original) es suficiente para justificar la conclusión de un doctorado.

El medir el grado de innovación o incluso la originalidad de una propuesta también es un punto complejo y un tanto subjetivo. Hoy en día, en ciertas áreas del conocimiento resulta bastante difícil proponer ideas realmente originales y es más común lo de las propuestas incrementales en las que un estudiante va haciendo pequeños ajustes a una propuesta original relativamente sencilla, intentando hacer un algoritmo más eficiente o efectivo, o bien más robusto. Sin embargo, esto también varía mucho en función del área en la que se trabaje. Para quien hace trabajo teórico, el mundo es blanco o negro. Para los que trabajamos con algoritmos estocásticos, que es un área mucho más experimental, sí existen los tonos de gris y casi siempre es posible producir una contribución que genere un par de publicaciones de buen nivel como para justificar otorgar el doctorado. Pero me ha tocado ver casos de estudiantes que acaban graduándose con propuestas que carecen de suficiente originalidad o que son cosas tan simples que no logran siquiera publicarlas en un congreso de buen nivel.

Una forma de reducir la subjetividad en la evaluación de propuestas es mediante la “evaluación colegiada” del comité de tesis, que parte del supuesto de que los sinodales son investigadores con una trayectoria y experiencia suficiente para poder dar una opinión positiva o negativa sobre una contribución propuesta. Otra forma de validación es dejar a evaluadores de conferencias y revistas especializadas juzgar menos subjetivamente el valor de lo que se propone, aunque obviamente en foros científicos hay que llevar las cosas un poco más adelante, al punto de obtener resultados sólidos, y no simplemente “Eurekas”.

Actitud favorable al “Eureka”

La actitud o disposición mental (en inglés “mindset”) favorable a los hallazgos novedosos incluye la ambición y la curiosidad (nuevamente, no podemos ahondar mucho en aspectos psicológicos). En el libro “Loonshots” [5], Safi Bahcall menciona que el verdadero innovador no se conforma con corroborar que cierto experimento no funcionó, sino que siente genuina curiosidad por encontrar la causa.

Innumerables científicos, incluyendo a Einstein, han enfatizado la enorme importancia de la curiosidad del verdadero científico en su trabajo.

Quisiéramos reflexionar también sobre la mentalidad que a veces inculcamos a nuestros estudiantes en torno a lo que se espera de ellos. Sobre todo en las instituciones públicas suele reinar un aire de mediocridad y de temor a proponer que nuestros estudiantes publicaran en los mejores congresos y en las revistas de mayor factor de impacto en el área, como si eso fuese algo inalcanzable por estar en México. Hemos luchado contra este problema durante toda mucho tiempo, aunque es evidente que no todos nuestros tesisistas doctorales logren publicar en los mejores congresos y en las mejores revistas. Pero sí les inculco que si hacen un buen trabajo doctoral, deben aspirar a publicaciones de muy buen nivel, porque el tipo de investigación que realizan es de muy buen nivel. Creo que ese elemento, asociado a la ambición de metas, es importante inculcarlo en un estudiante doctoral, pues deben sentir que deben competir con egresados de doctorado de otras partes del mundo a pesar de haberse doctorado en México.

Referencias:

[1] P. G. Rowe, *Design thinking*, MIT Press, 1991.

[2] M.O. Afolabi, S. Dionne, H. Lewis, *Are we there yet? A Review of Creativity Methodologies*, State University of New York Report, 2009.

[3] W. Huitt, *Critical thinking: An overview*, *Educational psychology interactive* 3, no. 6, 1998, pp34-50.

[4] F. Johansson, *The medici effect*. Penerbit Serambi, 2004.

[5] S. Bahcall, *Loonshots: How to nurture the crazy ideas that win wars, cure diseases, and transform industries*. St. Martin's Press; 2019.

Capítulo 6

Escritura de la tesis

Dr. Ramón Brena

La tesis doctoral no es una obra literaria. Nadie espera que tenga palabras rimbombantes y elegantes giros de lenguaje, sino explicaciones claras y sencillas.

Lo primero que debes tener claro es que la tesis es simplemente un reporte. Desde luego, no es un reporte cualquiera, y menos aún para ti, que has pasado años, meses y días enfocado en tu investigación, hasta el punto en que le tienes el afecto de un padre a su hijo.

Pero la realidad es que es preferible considerar la tesis simplemente como un instrumento de comunicación de tu trabajo realizado. Y de hecho ni siquiera de todo el trabajo realizado, porque hay en el largo camino del doctorado muchos intentos que no dieron resultados: ni siquiera proposiciones negativas, del tipo “Probamos que por el método X no se puede producir Y”, sino más bien “Nosotros no pudimos encontrar si con X se puede producir Y”, pues cuando hay resultados reales que son proposiciones negativas, éstos también son resultados reportables.

Un ejemplo de resultado que es una proposición negativa de gran trascendencia es que el problema de decidir si una máquina de Turing va a llegar al estado de paro con unos datos en particular, no se puede determinar con certeza en un tiempo acotado.

Así, la tesis es, en resumidas cuentas, un simple reporte del trabajo “reportable”, en términos sencillos y concisos. Lo que no pudiste hacer en tu doctorado simplemente no se reporta. Eventualmente se puede incluir en la lista de trabajos futuros (ver más adelante cómo hacer dicha sección).

Otro concepto frecuentemente mal entendido es que el paso inicial de la escritura de la tesis va a ser la introducción de esta. En realidad, frecuentemente la

introducción y la conclusión de la tesis son las últimas partes en escribirse, porque no es sino hasta que tienes un panorama muy claro de qué se pudo hacer y cómo, que puedes dar una descripción general y una valoración del trabajo hecho.

En opinión de muchos investigadores, primero se escribe algún reporte sobre el “corazón” de la contribución encontrada (ver capítulo sobre “el Eureka”), el cual generalmente se trata de publicar en las memorias de una conferencia o inclusive como artículo de revista. Después ya se puede ampliar el escrito de tesis con los demás detalles, que vamos a discutir más adelante.

Frecuentemente me preguntaban los alumnos: “Profe, ¿como qué extensión debe tener la introducción?” Hay que tener en mente que no es la extensión del escrito lo que importa, sino su contenido (el cual vamos a describir más adelante). En igualdad de condiciones, es preferible hacer un escrito conciso que uno extenso.

Un principio que queremos enfatizar antes de empezar a analizar la estructura (o posibles estructuras) que puede tener el escrito de tesis, es que cada capítulo y sección tienen un propósito específico, y por lo tanto no debe el alumno ponerse a escribir “lo que se le va ocurriendo”, sino examinar cómo va a cumplir, para su trabajo específico, con los objetivos de la sección que está por escribir.

Estructura de la tesis

No hay una estructura única de tesis de doctorado en computación para las distintas instituciones que tienen posgrados, y a veces hay variaciones dentro de una misma institución según el asesor o alumno de una tesis en particular, pero en general las tesis siguen la estructura que vamos a describir a continuación. En algunos casos vamos a comentar sobre las variaciones que suelen darse.

La estructura que vamos a considerar consta de los siguientes capítulos (eventualmente precedidos de un prefacio, dedicatorias, resumen, etc.):

- 1.- Introducción
- 2.- Fundamentos y estado del arte
- 3.- Método propuesto
- 4.- Experimentación y resultados
- 5.- Contribuciones y conclusiones

La mayoría de las tesis no tienen exactamente estos capítulos, pero normalmente va a ser una variación de esta estructura. En las siguientes secciones vamos a ir presentando los objetivos y contenido típico de cada uno de los capítulos de una tesis en computación.

Capítulo de introducción

La introducción de ninguna manera es “un rollo que se pone antes de entrar en materia”. Más bien define de lo que se trata y qué pretende la investigación del tesista.

Los puntos que incluye la introducción muchas veces son muy similares a lo que debe contener una propuesta de tesis doctoral, que en algunas instituciones se llama “Protocolo”, porque incluye los puntos que definen la investigación y que son evaluados al inicio de la misma por un comité para determinar si es una investigación válida.

La introducción a una tesis debe contener los siguientes elementos:

1.- **Motivación.** Establecer en forma general porqué es importante hacer la presente investigación doctoral; esto es, debe darse una motivación clara explicando los beneficios de la investigación, que justifican la inversión de tiempo y otros recursos para llevarla a cabo.

2.- **Área de la investigación.** Se debe explicar, dentro de las múltiples ramas que tiene la Ciencia de la Computación, en cuál se ubica la presente investigación. Desde luego, hay investigaciones que involucran varias áreas, y a veces alguna que no es de computación, pero tomando en cuenta que si la computación no es el área principal, entonces tal vez no debería estar en un programa de doctorado en computación.

3.- **Definición del problema a resolver.** Se debe formular en forma explícita qué es lo que al inicio de la tesis no se podía hacer, y gracias a la realización de la misma ahora sí se puede. Hay que escribir la definición del problema en forma tal que se provea un criterio claro para saber si la tesis tuvo o no éxito en su intento por resolver dicho problema.

4.- **Objetivos.** Se listan las metas generales y específicas que tiene la investigación, cuya consecución determina el éxito de la misma. Los objetivos específicos deben

ser productos verificables, tales como “la construcción de un conjunto de datos sobre actividad humana que incluyan sensores de movimiento y también de sonido, con al menos 30 individuos participantes”

5.- Hipótesis y preguntas de investigación. Las hipótesis son las suposiciones que deben ser ciertas para hacer posible la investigación. Por ejemplo, la hipótesis del viaje de Magallanes alrededor del mundo era que “existe un paso al sur de América que permite pasar hacia las Indias”. Dicha hipótesis resultó cierta, y por eso la expedición de Magallanes logró su objetivo, aunque el mismo Magallanes no pudo testificar su éxito al perder la vida (no es tanto lo que arriesga el tesista). Las preguntas de investigación son preguntas cuya respuesta no se conoce antes de haber realizado la investigación, como por ejemplo “¿Qué método de clasificación será el más adecuado para separar en categorías de calidad de pronunciación de inglés a los hispanohablantes que aprenden dicho idioma en nuestro conjunto de datos?”.

6.- Metodología de investigación. En esta sección se enumeran los pasos y la elección de métodos que se van a seguir en la investigación. Es deseable que los pasos de la metodología sean lo más específicos posibles. Por ejemplo, en vez de escribir “Realizar una investigación bibliográfica de los trabajos previos más relevantes”, que es difícil de evaluar porque no se define el criterio de “relevancia”, se puede poner algo como “Realizar un estudio bibliográfico sistemático con base en el “query” “Human activity recognition” restringido a artículos de revistas entre los años 2010 y 2022”. En los puntos relacionados con los experimentos, establecer si son experimentos exploratorios o de validación, y en este último caso explicitar el criterio que permite verificar si la hipótesis se cumple o no.

7.- Contribuciones de la tesis. Aunque obviamente las contribuciones son presentadas en detalle en el capítulo de las conclusiones, se deben presentar las contribuciones y resultados obtenidos de una manera general en el capítulo introductorio, pues son una parte esencial para apreciar el valor del trabajo.

Un punto que viene en la propuesta de investigación y no queda en la tesis al final es obviamente el plan de trabajo.

Capítulo de fundamentos del área de conocimientos y estado del arte

El objetivo primordial de este capítulo es el de establecer la frontera del conocimiento en el área en que se hace la tesis hasta el punto en que estaba antes de realizar la investigación de tesis. Para esto obviamente se deben revisar los trabajos más avanzados en el área, pero además es conveniente realizar una revisión de los conceptos básicos de la misma. Esto es bueno porque de esta forma:

- Se uniformiza la notación, evitando utilizar muchos términos y símbolos distintos para lo mismo, pues en general hay bastante variación de unos autores a otros;
- El escrito es autocontenido, es decir, la explicación de cada concepto importante está en la misma tesis, en vez de pedir al lector salir de la tesis para estudiar cierta noción. Desde luego esto tiene sus límites, pues la tesis está dirigida a un lector conocedor del área general de la tesis, aunque tal vez no de muchos detalles específicos.

Algunos asesores de tesis (o el mismo tesista) prefieren separar en capítulos independientes la descripción del área general de la del área específica en que se discute el estado del arte en el tema. Pienso que puede ser de cualquiera de las dos formas (en un solo capítulo o en dos), pero lo importante es que efectivamente se aborden ambos aspectos. Si la tesis involucra varias áreas, hay que hacer la revisión general de cada una de ellas.

La revisión del estado del arte debe contrastar el trabajo de tesis que se presenta con respecto a los trabajos previos, resaltando tanto lo que diferencia la presente tesis de éstos, como mencionando las ventajas relativas del presente trabajo. Tal como lo estamos presentando aquí, la comparación de la tesis con otros trabajos es hecha antes de la presentación de los métodos y resultados propios, lo que implica que no se puede hacer en términos muy técnicos ni específicos, sino de manera general. Una vez que se han presentado los métodos y resultados ya se puede hacer la comparación en términos muy específicos, y esto se puede hacer ya sea en una sección de los resultados, o de las conclusiones, o en un capítulo especial.

La discusión del estado del arte puede concluirse por una comparación de los trabajos previos contra lo que se propuso en la tesis, usualmente en la forma de una tabla comparativa. Esta comparación permite entender en qué la tesis representó un avance comparado con lo que existía anteriormente.

Las formas de recolectar trabajos relacionados con la investigación de tesis se discutieron en el capítulo sobre cómo hacerse rápidamente un experto en el área.

Un aspecto importante en todo capítulo de revisión del estado del arte es proveer una clasificación adecuada de los trabajos encontrados. Sin dicha clasificación, la revisión secuencial de los trabajos encontrados no solo es difícil para el lector, sino también es difícil establecer en qué punto puede considerarse completa. En cambio, cuando se cuenta con una clasificación de trabajos previos, obviamente hay que incluir trabajos de cada rama de dicha clasificación, y además el lector puede ir verificando cómo se van explorando las sucesivas ramas de la clasificación.

Una gran ventaja de hacer una buena revisión de trabajos previos es que brinda la oportunidad de publicar un artículo de tipo “survey”, ya que la publicación de artículos es un requisito de graduación en muchos doctorados de prestigio. Adicionalmente, cuando incluye la explicación de los conceptos del área se convierte en una forma muy conveniente de aprender lo esencial de la misma, y por lo mismo, un artículo de “survey” puede ser muy leído –y muy citado.

Capítulo del método propuesto

Un error que muchos alumnos de posgrado cometen es que no queda muy claro qué partes son tomadas de otros autores y cuáles son propuestas como contribución original. Esto es un problema muy serio porque entonces no se ve claramente cuál es la contribución del alumno.

Se supone que es en el capítulo del método propuesto donde inicia la contribución del alumno. Aunque hay muchas variaciones válidas de la estructura de una tesis, debe evitarse a toda costa tener capítulos en que aparezcan las contribuciones del alumno revueltas con descubrimientos anteriores.

El capítulo sobre el método propuesto describe cómo funciona o en qué consiste la contribución original, y se muestran diagramas de bloque o de estructura que apoyen la explicación, pero no se dan aún los detalles de su implementación, tales como el tamaño de las bases de datos usadas, el hardware en que se corrieron los experimentos, etc.

Es conveniente hacer un esfuerzo por expresar los métodos utilizando terminología matemática. Esto no es una cuestión de gustos, pues tenemos que

alcanzar dos metas que pueden ser opuestas una a la otra: por una parte, la descripción del método debe ser abstracta, como comentamos en el párrafo anterior, pero a la vez debe ser precisa, sin vaguedad ni ambigüedad. Pero precisamente éstas son dos cualidades de la notación matemática, pues es precisa, y también abstracta.

En el capítulo de métodos deben incluirse los principales algoritmos propuestos, pero en notación matemática y no en un lenguaje de programación, por las razones explicadas en el párrafo anterior. También deben incluirse las demostraciones matemáticas, si la tesis las incluye.

Capítulo de experimentos y resultados

Los capítulos de método propuesto y de experimentos y resultados son el corazón de la tesis, en el sentido de que son lo más esencial de lo que reporta la tesis, al menos en las tesis de naturaleza experimental. Esto es importante de aclarar, pues también hay tesis de naturaleza teórica (yo mismo he dirigido una), en que la verificación no se hace mediante experimentos, sino mediante demostraciones.

Si vemos la tesis como una cebolla (o como un ogro, si viste la película “Shrek”), tiene varias capas concéntricas, y en el centro están el método y los experimentos. En la capa externa está la introducción, el estado del arte y las conclusiones. Como hemos comentado anteriormente, es mejor hacer primero el núcleo, y luego “vestirlo” con la capa exterior, pues necesitas primero saber qué resultó en la realidad para después interpretar a qué corresponden dichos resultados.

Prácticamente todas las tesis en Ciencias Computacionales incluyen experimentos, y además los experimentos son la parte de trabajo más extensa, pues para hacer experimentos normalmente tendrás que programar, y luego correr un experimento con datos, y luego darte cuenta de que hay que modificar la parte programada, y luego correr nuevamente, y así en adelante, repetido un gran número de veces.

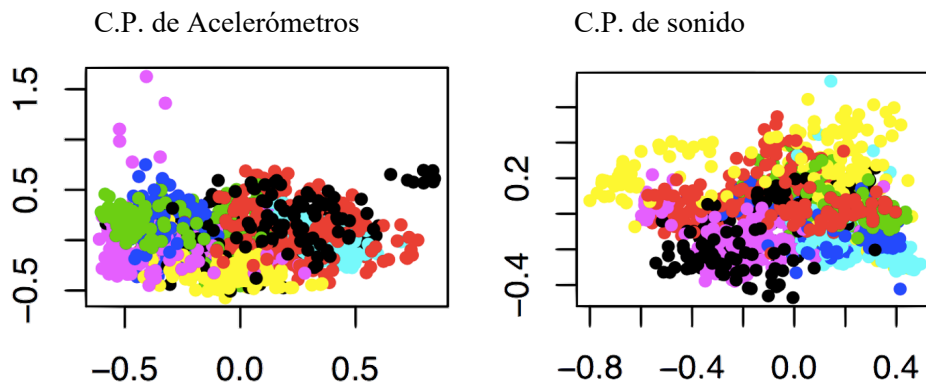
Hay dos tipos de experimentos, y debes tener bien clara la diferencia entre ellos:

- 1.- Experimentos exploratorios.
- 2.- Experimentos de validación.

En los experimentos exploratorios se exploran características de los datos con que se está trabajando (estadística descriptiva), y se busca en forma tentativa si ciertas hipótesis pudieran tener sentido.

Por ejemplo, recuerdo una tesis sobre reconocimiento de actividades utilizando múltiples sensores, y en particular se quería explorar la idea de complementar la información de los acelerómetros con el sonido ambiental. Pero para que se puedan complementar es necesario que la información de acelerómetros y sonido no sean redundantes, pues si lo fueran en realidad no se aporta información.

Pero ¿cómo saber si la información de los acelerómetros y el sonido son redundantes o más bien complementarios? Lo que hizo el tesista doctoral fue calcular, tanto para los acelerómetros como para el sonido, los dos “componentes principales”, graficar poniendo en colores diferentes las etiquetas (en ese caso el tipo de actividad realizada), y haciendo con esto dos gráficas, presentadas abajo, que se pueden analizar cualitativamente. Obviamente se tomaron los 2 componentes principales y no 4 porque una gráfica de dos dimensiones es mucho más fácil de graficar y comprender intuitivamente.



Una vez teniendo las gráficas, es trabajo del humano hacer una interpretación relevante. En este caso podemos ver, por ejemplo, que para los acelerómetros la actividad en negro se encima mucho con la de rojo, por lo que sería muy difícil su separación para poder clasificar, mientras que para el sonido, las zonas del negro y

del rojo están relativamente bien separadas. Similarmente, el verde y el azul claro están bien separados en los acelerómetros, mientras que en el caso del sonido están muy juntos. Todo este análisis muestra que las informaciones de acelerómetros y sonido son bastante complementarias, por lo que vale la pena explorar la opción de combinarlas para obtener una clasificación mejorada, que fue lo que se hizo (los resultados también se publicaron en un artículo de revista [1]). Pero ojo: en este punto lo único que hemos hecho no es una clasificación mejorada, sino únicamente examinar los resultados de experimentos descriptivos y exploratorios para ver si la hipótesis de complementariedad se verifica, y en ese caso, tener bases sólidas para intentar combinar ambas informaciones buscando una clasificación mejorada.

Los experimentos de validación son completamente diferentes a los exploratorios. No se busca encontrar información adicional o formas de interpretar o caracterizar los datos, sino que se busca probar que el método propuesto por el tesista es mejor –en algún aspecto– a los métodos disponibles antes de la realización de la tesis.

En otras palabras, los experimentos de validación son “la hora de la verdad”, el momento en que el alumno clama públicamente que ha encontrado algo mejor que lo existente, y ofrece una prueba objetiva –usualmente experimental– de ello.

Dado que el aspecto en que los resultados del alumno son supuestamente mejores que lo ya existente pueden ser muy distintos, aquí no podemos describir en detalle lo que hay que hacer. Puede tratarse de resultados de clasificación, y en ese caso se pueden usar indicadores tales como la exactitud, la precisión, la sensibilidad, la especificidad, etc., o bien tal vez lo que se mejora es la eficiencia o escalabilidad del método. Pero, en cualquier caso, se debe ofrecer una prueba objetiva (muchas veces incluyendo margen de error) de que se ha encontrado una ventaja del método que se está proponiendo.

En la presentación de resultados experimentales es indispensable incluir pruebas de significancia estadística porque éstas proveen medidas de la confianza que se puede tener en las cifras reportadas. Dichas pruebas son un componente esencial de la solidez con que se establecen los resultados experimentales, pues de otra forma los resultados podrían ser atribuidos a simples variaciones aleatorias de los datos.

La comparación con los métodos existentes puede ser hecha utilizando los resultados reportados, o bien en algunos casos, implementando el método de otros autores para poder hacer la comparación. Ambas vías son delicadas de hacer, pues por una parte, si nos basamos en los resultados reportados, necesitaremos que los experimentos de los otros autores se hayan hecho con datos iguales o equivalentes, lo que generalmente es muy difícil de verificar, al faltar detalle en la descripción de los experimentos de los otros autores. Si el tesista programa los métodos ofrecidos por otros autores, tiene que estar realmente muy seguro de que fueron correctamente implementados, para que sea una comparación justa.

Muchas tesis incluyen una sección sobre la interpretación de alto nivel de los resultados experimentales, mientras que otras tesis ponen este material como parte de las conclusiones. En principio ambas opciones son buenas, y dejamos esto a criterio del tesista y su asesor.

No todas las tesis incluyen resultados experimentales, pero sí la gran mayoría. Por ejemplo, una tesis donde se haga una deducción teórica de cierto resultado no va a incluir experimentos, sino únicamente la deducción mencionada.

En cuanto a la inclusión de tablas y gráficas, aunque es conveniente poner las suficientes para clarificar qué resultados se obtuvieron, es importante no poner tablas y gráficas “sin ton ni son”, pues todo material incluido debe servir para clarificar algo en particular, y no nada más para que “vean que el tesista trabajó mucho”. No es la cantidad de trabajo lo que debe evaluarse al aprobar (o no) una tesis, y ni siquiera se debe reportar todo el trabajo realizado por el tesista, pues parte del trabajo puede haber sido explorar opciones que no dieron resultados (ni positivos ni negativos). La tesis debe mostrar una contribución, y el material descriptivo de los experimentos debe clarificar dicha contribución.

Capítulo de conclusiones

El capítulo de conclusiones es extremadamente importante, pues en él se establece el valor global del trabajo realizado. Los elementos que debe tener un capítulo de conclusiones son:

1. Recapitular sobre qué fue lo que se presentó como trabajo de tesis; por ejemplo: “En esta tesis se presentó un método mejorado para clasificar...”
2. Establecer lo que se reclama como contribución original. Aquí el tesista define exactamente cómo hizo avanzar la frontera del conocimiento. Por ejemplo: “En este trabajo se propuso un método original que por primera vez predice el mejor método de fusión de datos para reconocimiento de actividad humana”. O puede ser que en vez de proponer algo por primera vez, se proponga algo que hace lo mismo, pero mejor, o más rápido, o en forma más escalable.
3. Trabajo futuro. Esto se refiere a la descripción de cómo se podría continuar la presente investigación. No quiere decir que uno promete que hará dicho trabajo futuro; más bien se propone a la comunidad científica como vías promisorias. Desde luego, el hecho de que una investigación puede continuarse no es lo mismo que dejar un trabajo trunco o inconcluso. Para que una tesis pueda ser aprobada, debe haber alguna contribución original completa y validada.

En ocasiones los latinoamericanos tenemos dificultad para proclamar que lo que hicimos tiene valor de contribución, pues nuestra cultura enaltece la modestia. Pero en cuestiones de un trabajo de tesis hay que hacer una excepción. No se debe proclamar ni más ni menos que lo que efectivamente se ha contribuido. No es una cuestión de vanidad ni de modestia.

Herramientas, LaTeX e inglés

Generalmente las tesis tienen otras secciones (portada, agradecimientos, índice, etc.), muchas de las cuales son generadas automáticamente si el tesista hizo uso de software especializado, y en particular LaTeX. En efecto, LaTeX genera automáticamente la tabla de contenidos, el listado de figuras, y además numera automáticamente las secciones, subsecciones, figuras, tablas, etc., lo cual facilita mucho el trabajo, porque es posible mover contenido de una parte a otra, y toda la numeración es ajustada sin errores y sin esfuerzo por parte del tesista. Uno de los anexos de este libro brinda al lector recursos sobre el uso y aprendizaje del sistema LaTeX.

Hay instituciones que piden obligatoriamente a los estudiantes del doctorado de computación escribir sus tesis en LaTeX, y también escribirlas en el idioma inglés. Esto último puede ser también una excelente idea, pues por una parte la tesis puede ser accesible para un conjunto enorme de lectores, siendo actualmente el inglés una especie de “lingua franca” de la comunidad científica internacional, por lo que un científico polaco podrá leer la tesis en inglés, sobre todo si fue puesta en línea a disposición del público global.

Por otra parte, normalmente se busca que el trabajo de la tesis tenga impacto más allá de la consulta de la tesis misma, por lo que es conveniente (y en muchas instituciones requisito) publicar sus contribuciones en memorias de congresos o en revistas especializadas. Dichas publicaciones normalmente son en inglés, por lo que al estar la tesis misma ya en inglés, no es necesario hacer un trabajo de traducción. Es más, en la mayoría de los casos se hace primero la publicación de uno o dos artículos, y posteriormente se termina la escritura de la tesis.

Hay disponibles gratuitamente y en línea diversas introducciones al uso de LaTeX, por lo que aquí no daremos ninguna explicación al respecto. Sin embargo, sí comentaremos que algunas instituciones piden que sus tesis sigan un formato muy específico, por lo que se han puesto en línea varios “estilos” de LaTeX, de manera que, por el hecho de incluir dichos estilos en el preámbulo de LaTeX, automáticamente la tesis sigue las especificaciones de la institución en cuestión.

Un sitio donde hay estilos para instituciones latinoamericanas tales como el Tecnológico de Monterrey es “Overleaf”¹. Overleaf es también una herramienta muy conveniente para el uso de LaTeX, pues el usuario no tiene que instalar ningún programa en su computadora, y la edición se hace desde el navegador web.

Referencias:

[1] E. Garcia-Ceja, C.E. Galván-Tejada, R. Brena, *Multi-View Stacking for Activity Recognition with Sound and Accelerometer Data*, Information Fusion journal Volume 40, March 2018, Pages 45–56, DOI 10.1016/j.inffus.2017.06.004, 2018.

¹ <https://www.overleaf.com>

Capítulo 7

Heurísticas diversas para el éxito en el doctorado

Dr. Francisco Cantú Ortiz

En los capítulos previos de este libro se han abordado varios temas sobre la realización de un doctorado que incluyen la motivación para hacer un doctorado en computación, las etapas que conforman un doctorado, la búsqueda y selección de un asesor y del tema de la tesis, el desarrollo de la tesis que convierte al alumno en un experto en el tema, el “Eureka” que lleva a un descubrimiento innovador y contribución original de la investigación, y la escritura del documento de tesis antes de su defensa ante un comité.

En este capítulo analizaremos algunos “tips” o recomendaciones conocidas también como “reglas de dedo” o heurísticas que ayudan a minimizar los riesgos inherentes y que se manifiestan a lo largo de las etapas del doctorado. La palabra heurística (del griego εὐρίσκειν), significa hallar o descubrir, siendo la palabra eureka que ya se visto en el capítulo 4, el pretérito perfecto de este verbo. El propósito de este capítulo es proponer un conjunto de heurísticas para identificar los riesgos potenciales en las distintas etapas del doctorado y poder evitarlos, o en su caso, afrontarlos adecuadamente para llegar al cumplimiento de los objetivos de la investigación.

Analizaremos estas heurísticas clasificándolas en cinco etapas: la etapa de entrada, las etapas divergente y convergente ya comentadas en otro capítulo, la etapa de salida, y una etapa longitudinal que se extiende a lo largo del tiempo que duran los estudios doctorales.

Heurísticas para la etapa de entrada

Al llegar a la etapa de entrada, el alumno ya tiene en mente el deseo y la pasión suficiente para realizar estudios doctorales. En esta etapa, el alumno selecciona una universidad para realizar sus estudios, obtiene la admisión al programa doctoral en computación presentando los exámenes de admisión de aptitud como el “Graduate Record Examination” (GRE) o un examen de idiomas, tiene en mente un tema posible de investigación, ha contemplado posibles asesores de tesis, y posiblemente ha seleccionado un asesor para llevar a cabo la investigación doctoral.

De la misma manera, en esta etapa, el alumno resolvió ya la manera en que financiará sus estudios durante el tiempo del doctorado, el cual puede llevar de 3 a 7 años. Los financiamientos pueden provenir de una beca nacional o internacional, o bien de la propia universidad en que realiza los estudios, o de alguna otra institución o empresa.

Un riesgo posible al iniciar los estudios doctorales es la problemática que implica el tener que viajar a un país diferente del país de origen, así como el tener que aprender un idioma diferente del lenguaje nativo. Típicamente el lenguaje a aprender es el idioma inglés, francés, o alemán, si se va a estudiar computación en Norteamérica o Europa. También ha habido algunos casos en que el país de estudios es Japón, en cuyo caso se ha tenido que aprender el idioma japonés. También, en estos tiempos, los estudios en China se han incrementado requiriendo para ello el aprendizaje del idioma mandarín.

Si el estudiante es casado, hay que considerar la situación del cónyuge, y en su caso, de los hijos y su educación, si los hubiera. También debieron haberse resuelto los trámites migratorios correspondientes para tener la visa de estudiante que le permita al alumno ingresar al país destino y en su caso, la visa del cónyuge y de los hijos, si los hubiera, así como los estudios de los hijos.

Otro riesgo a tomar en cuenta en esta etapa es que para mantener el apoyo financiero el estudiante debe tener, al menos anualmente, un desempeño académico apropiado y respaldado por la universidad en la que se realizan los estudios doctorales. La heurística en este caso es, buscar un ambiente en el que se pueda tener concentración y aplicar el esfuerzo persistente requerido para el logro de las metas elaboradas en el plan de trabajo y calendario académico.

Como ya se comentó en un capítulo anterior, la selección del director o asesor de tesis es un elemento clave para tener éxito en la realización de la investigación doctoral. Las recomendaciones que se pueden hacer sobre este punto es que debe haber empatía entre asesor y tesista, asegurarse que el asesor no esté sobrecargado para que pueda dedicar al asesorado el tiempo debido, seguir las recomendaciones que haga el asesor, asistir a los seminarios que el asesor organice, así como evitar confrontaciones por desacuerdo en los métodos de investigación propuestos, en las preguntas de investigación, en las hipótesis, y en los resultados que se esperen obtener. En todo caso, se debe guardar una relación interpersonal de respeto y armonía entre el tesista y el asesor. Tristemente, existen casos conocidos y documentados en los cuales estos elementos no se cumplen, lo cual ocasionará retrasos en la investigación, y otros casos, se ha dado el rompimiento de la relación con la necesidad de buscar un asesor alterno, o terminar sin éxito los estudios doctorales.

Heurísticas para la etapa divergente

En las primeras etapas del doctorado se abren una multitud de alternativas para llevar a cabo una investigación doctoral. Por lo tanto, un aspecto importante en esta etapa tiene que ver con la selección y focalización del tema sobre el cuál se va a realizar la investigación.

En este punto, la experiencia y consejo del asesor es importante para lograr una focalización de la investigación que permita probar las hipótesis planteadas en el tiempo estipulado para terminar los estudios. En este caso, la realización de una revisión sistemática y análisis de la literatura, así como de trabajos relacionados será muy importante para tener la focalización adecuada mediante el análisis de los trabajos futuros indicados en la literatura revisada y su adecuación con las hipótesis a ser demostradas.

Una recomendación para esta etapa es la asistencia a seminarios de investigación organizados por grupos de la propia universidad, así como a talleres y conferencias relacionados con la revisión de la literatura y el tema de investigación.

De la misma manera, son muy importantes en esta etapa las interacciones informales con profesores, compañeros de estudio, o investigadores de otras instituciones, en un ambiente social de confianza y diálogo en donde se puedan expresar dudas, así como escuchar sugerencias y consejos para redondear la focalización del tema de investigación.

En algunos ambientes estas interacciones se pueden realizar compartiendo alimentos y bebidas mientras se tiene diversas conversaciones en temas de ciencia y cultura. Recordamos el caso de una institución canadiense en cuyo departamento de computación se acostumbraban a realizar reuniones académico-sociales llamadas “beer-and-informatics” en donde se daba una charla por parte de algún profesor con la asistencia de otros profesores, así como de alumnos de posgrado proporcionando a los comensales pizzas, bebidas y cervezas. Este esquema se replicó en al menos una institución mexicana y en otras instituciones académicas.

Por otro lado, en la cultura británica son muy populares los “pubs”, que son tipos de bares frecuentados por muchas personas al final de las labores del día para convivir socialmente en un ambiente relajado y de diálogo. Los alumnos de posgrado de estas universidades británicas aprovechan este ambiente para convivir con profesores y compañeros y para tratar temas de cultura e investigación que frecuentemente resultan muy útiles para adquirir inspiración y ánimos para continuar con los esfuerzos que lleven al descubrimiento anhelado que se convertirá en la contribución innovadora al conocimiento científico de la investigación doctoral. Algunas universidades tienen “common rooms” para la reunión informal de estudiantes, y son útiles para poner en contacto a alumnos en distintas etapas de sus estudios, de forma que compartan información y puntos de vista.

Es común que en esta etapa el alumno tenga que cursar materias que le proporcionen las bases para llevar a cabo su investigación. En algunos casos estos cursos son obligatorios y por lo tanto se deben cursar y aprobar, pero en otros casos estos cursos son optativos y dependerá del diálogo que se sostenga con el asesor de tesis para llevar los cursos que sean estrictamente necesarios para realizar la investigación doctoral. Se debe evitar la tentación de llevar más cursos de los que sean necesarios para tener las bases requeridas.

Heurísticas para la etapa convergente

El elemento clave que separa la etapa convergente de la divergente del doctorado es la consecución del “Eureka”, que ya se mencionó en un capítulo anterior. Este descubrimiento debe ser documentado y discutido con el asesor y otros colegas para darle forma y comunicarlo adecuadamente. Típicamente, esta aportación será la base para escribir el o los capítulos centrales del documento de tesis, por lo cual, es muy importante dedicarle todo el tiempo posible a su escritura. Pero también será igualmente importante publicar uno o más artículos de revista y conferencia para tener la revisión de pares o “peer-review”, un elemento esencial de la práctica científica que determina generalmente cuándo se tiene una contribución original al conocimiento científico.

Se debe tener en cuenta que, si el artículo es aceptado en una conferencia internacional arbitrada e indizada por las plataformas “Scopus” o “Web of Science”, el autor tendrá que viajar para hacer la presentación del artículo, a menos que se permita hacer la presentación en línea como consecuencia de la pandemia. Si hay necesidad de viajar, se deberán financiar los gastos de viáticos requeridos para hacer la presentación del artículo. Si el artículo es aceptado por una revista indizada, habrá que considerar el costo de hacer la publicación en el modo de acceso abierto y “open access” para darle mayor difusión al artículo y en menos tiempo, comparado con el modo tradicional de publicar en revistas, el cual, aunque pueda no tener un costo asociado, tomará más tiempo en publicarse y tendrá una audiencia más restringida.

Existe la percepción de que los artículos publicados en el modo de acceso abierto podrán recibir más citas que los artículos publicados en el modo tradicional. Se requerirán más evidencias para confirmar esta hipótesis, pero será de gran utilidad para el estudiante doctoral si su artículo puede difundirse lo más pronto posible una vez aceptado por una revista.

Adicionalmente, la mayoría de las universidades tienen como requisito de graduación la publicación de, al menos, un artículo científico de revista o conferencia como requisito de graduación. El haber logrado una o más publicaciones científicas arbitradas es una evidencia convincente de que se ha realizado una aportación original al conocimiento cuando se lleva a cabo la defensa de la tesis ante el tribunal, jurado o comité de tesis integrado por especialistas en el tema, quienes juzgarán la relevancia de la aportación científica realizada.

Además de las conferencias arbitradas donde se participa con un artículo que se pretende publicar, puede ser muy conveniente que el alumno de doctorado participe en los “consorcios doctorales”, que son “tracks” de las conferencias especiales para los alumnos de doctorado. Son una oportunidad para interactuar con otros estudiantes y algunos profesores, y no deben ser vistos como una opción para publicar resultados. En un consorcio doctoral el alumno puede encontrar un espacio amigable donde puede discutir sus dificultades (y recibir comentarios empáticos) y no únicamente hablar de sus logros. Los consorcios doctorales no son únicamente para alumnos cercanos a terminar, y la participación en ellos puede ser conveniente desde etapas más tempranas.

Heurísticas para la etapa de salida

En esta etapa se realizan las actividades que conducen a la graduación del estudiante doctoral. La actividad más importante de esta etapa es la defensa de tesis ante el tribunal designado para tal efecto. Comúnmente, el jurado se conforma por alrededor de cinco sinodales que son investigadores especialistas en la disciplina y quienes llevarán a cabo el interrogatorio sobre la aportación realizada y su relevancia. La defensa puede llevar desde un par de horas hasta un día completo, lo cual dependerá del convencimiento que los sinodales tengan de la originalidad y relevancia de la aportación.

El dictamen del jurado podrá ser uno de cinco posibles resultados: (1) aprobar la tesis como está, (2) aprobar la tesis con correcciones mayores, (3) aprobar la tesis con cambios mayores que no requieren una segunda defensa, (4) aprobar la tesis con cambios mayores que sí requieren una segunda defensa, (5) reprobar la tesis. El dictamen ideal es el 1, pero este se da en casos excepcionales. Lo más común es tener los dictámenes 2 o 3. Los dictámenes 4 o 5 significan que se encontraron deficiencias importantes en la originalidad de la investigación realizada.

La orientación y consejo del asesor de tesis es muy importante para llevar a cabo una defensa de tesis exitosa. La recomendación para el alumno es llegar descansado y relajado a la defensa de tesis, y en la manera de lo posible, controlar los nervios, y tratar de disfrutar la exposición de resultados de la investigación, así como el interrogatorio que se tendrá con los sinodales. Hay que recordar que el alumno doctoral tiene un conocimiento mayor sobre el tema que los sinodales que

lo van a interrogar. Por ello, es importante llegar a la defensa con serenidad y confianza en que se podrán contestar con toda honestidad las preguntas que surjan durante la defensa. Si hay que decir “no sé la respuesta” a una pregunta determinada de algún sinodal hacerlo con toda sinceridad, e indicar las formas posibles en que esa pregunta pudiera ser respondida como trabajo futuro por parte de otros investigadores.

Es importante considerar que las preguntas de los sinodales generalmente se relacionan con su propia trayectoria y experiencia, por lo que una buena idea es familiarizarse con sus trabajos publicados: las preguntas del examen frecuentemente se van a relacionar con dichas publicaciones. El trabajo de los sinodales es muy importante y no hay que verlos como “el enemigo” o como una amenaza, aún cuando a veces sus preguntas sean difíciles de atender.

Es recomendable tener listas las publicaciones realizadas como resultado de la investigación con los documentos publicados y con sus referencias bibliográficas en alguno de los formatos más comunes como los son IEEE, APA, MLA, Harvard, Chicago, o algunos otros. Actualmente, los cambios de formato se pueden realizar con mucha facilidad utilizando algún software de manejo de referencias que incluyen Mendeley, BibTex, EndNote, Zotero, y algunos otros. En uno de los anexos se listan recursos para aprender y usar el sistema LaTeX y su paquete de manejo de referencias, BibTeX.

Heurísticas longitudinales (para toda etapa)

Existe un dicho, y por lo tanto lo podemos tomar como una heurística, que dice que el hacer estudios doctorales se parece más a una carrera de resistencia que a una carrera de velocidad. Esto quiere decir que la persistencia y la perseverancia son virtudes muy necesarias para tener éxito en los estudios doctorales. Algunos llamarán a estas virtudes una actitud de resiliencia, pero en realidad lo importante es el no desanimarse ante las dificultades que se van encontrando a lo largo de los estudios, y levantarse con nuevos ánimos y bríos renovados cuando se tienen caídas o fracasos como puede ser el rechazo de un artículo de revista o conferencia cuando se intentan reportar resultados preliminares de la investigación. Otras situaciones de desánimo pueden ser la falla de una máquina o equipo de laboratorio requerido para hacer los experimentos, el vencimiento de una licencia de software que no ha sido

renovado por la universidad o el departamento correspondiente, o una falla eléctrica, terremoto, inundación, u otro fenómeno natural que pueden afectar el uso de los equipos requeridos para llevar a cabo el trabajo experimental. Los amigos y la familia juegan un papel muy importante para reforzar el ánimo cuando las cosas no salen bien o se presentan dificultades inesperadas que habrá que resolver de alguna manera para seguir adelante con la investigación doctoral.

Un aspecto esencial que deberá cuidarse a lo largo de los estudios es el tema de la salud física y mental. Esto requiere vigilar la dieta, observar el descanso debido, y realizar ejercicios para mantener el cuerpo y la mente aptos para sostener jornadas de trabajo que pueden ser hasta de 12 horas.

Con respecto al ambiente de trabajo, es importante que el estudiante tenga un lugar de trabajo fijo en la universidad o laboratorios del departamento de computación, aunque sea solo un escritorio en un espacio abierto compartido con otros estudiantes pero que sea exclusivo para el estudiante. Este lugar será el refugio silencioso que será testigo de las lágrimas y alegrías que el alumno experimentará durante sus estudios de doctorado. Generalmente, el departamento o el asesor deberán hacer las gestiones requeridas para contar con este lugar de trabajo.

El habla es un distintivo natural en los seres humanos. Nacemos con una capacidad para comunicarnos verbalmente desde el momento de nuestro nacimiento hasta el momento de la muerte. Pero esto mismo no lo podemos decir de la escritura. Escribir coherentemente no es algo que sea inherente a las personas. Esta es una habilidad que se debe desarrollar desde que un individuo tiene uso de razón y a lo largo de toda su vida. Y esto aplica con mayor razón cuando se hacen estudios doctorales en computación o en otras disciplinas.

Por lo tanto, es importante desarrollar el hábito de la escritura desde etapas tempranas y estar escribiendo regularmente acerca de los avances que se vayan realizando durante los estudios doctorales. Para desarrollar esta habilidad, existen libros y manuales sobre reglas gramaticales, sintácticas, y de construcción de oraciones y párrafos de un documento académico, así como talleres y seminarios que ayudan a lograr esta virtud.

El problema de escribir adecuadamente un documento académico se agudiza cuando el idioma en el que se escribe la tesis no es el idioma nativo. Para aliviar un tanto este aspecto de la escritura en otro idioma, existen compañías, así como

herramientas de revisión de la escritura que pueden emplearse para editar o hacer traducciones de idioma, para asegurar la calidad de la escritura con un mínimo razonable. Dos herramientas populares entre los estudiantes para hacer la revisión de textos en inglés son Grammarly² y Trinká³, entre otros paquetes de edición.

Conclusión

En este capítulo se ha presentado un conjunto de consejos o heurísticas que se pueden dar a un estudiante doctoral para llevar a cabo de manera exitosa sus estudios doctorales en ciencias de la computación. Esperamos que estos “tips” o recomendaciones resulten de utilidad para los alumnos que piensan llevar a cabo estudios doctorales, o para aquellos que ya están a bordo de la aventura de llevar a cabo investigación doctoral en ciencias de la computación en una universidad nacional o del extranjero.

² <https://app.grammarly.com/>

³ <https://www.trinka.ai/>

Capítulo 8

Tras la obtención del doctorado

Dr. Pablo Noriega

Estos comentarios están pensados para que te sirvan cuando estés próximo a terminar el doctorado, pero espero que te puedan ser útiles si los lees antes o después. Todo lo que digo aquí es bastante obvio y simplemente pretende poner en orden mi propia experiencia y lo que he visto en otras personas; y si te parece que soy repetitivo es cierto, pero es porque hay matices que juzgo oportuno destacar.

Antes que nada, una reflexión, que no por obvia deja de ser importante: Cuando acabes el doctorado ponte las pilas. Otras, pero pilas nuevas. Al acabar el doctorado (como sea que lo acabes y con los planes de futuro que tengas) tu vida cambia y entras en un proceso muy distinto a lo que has vivido hasta ese momento. En mi leal saber y entender, para vivir provechosamente este proceso conviene organizarlo en tres etapas: reflexionar sobre la experiencia, despachar ciertas tareas ineludibles y preparar los siguientes pasos. En este capítulo te propongo una serie de heurísticas organizadas alrededor de esas etapas. Confío en que te aprovechen.

Antes de tirarte “la neta”, planteo una pregunta cuya respuesta seguramente te servirá para interpretar mejor este capítulo: ¿Cómo vas a acabar el doctorado? (en futuro siempre).

Ojo, en el título que originalmente habían propuesto para este capítulo se hablaba de la “obtención del doctorado”, pero decidí que es más útil hablar de acabarlo, y preguntarse cómo acabarlo. No es una pregunta retórica porque hay varias maneras de acabar el doctorado y cada una tiene su aquello. En mi caso yo lo

acabé tres veces: la primera terminé sin obtenerlo, en el fondo, porque no di el ancho; la segunda, lo obtuve pero terminé a medias porque en cuanto defendí la tesis salí de inmediato a trabajar fuera de la academia, y la tercera porque volví, al cabo de varios años, a trabajar de tiempo completo en investigación a partir de lo que había hecho en el doctorado.

Las heurísticas que propongo en este capítulo se aplican a cualquier forma de acabar el doctorado, sólo que en el paso 3 abordo por separado unos matices que creo que pueden ser más específicos para las distintas maneras de acabar.

Fase 0: Tocar tierra

Lo primero que conviene hacer cuando acabas el doctorado es poner en limpio las cosas buenas que lograste con este esfuerzo.

Sea lo que sea que hayas hecho, vas de gane:

1. Aprendiste a leer (en serio),
2. A organizar tus ideas y las de otros,
3. Debiste haber aprendido a escribir y
4. Has tenido que presentar tus ideas de manera clara para convencer a quienes te escuchan de que las ideas son buenas.

Toma en cuenta de que hagas lo que hagas, esas cuatro habilidades ya las tienes, las tienes mejor ejercitadas que la mayoría de la humanidad, y, sorpresa, el resto de tu vida profesional tendrás que usarlas a diario y lo mejor que puedas.

Te conviene reflexionar sobre tu experiencia. Para mal y para bien, lo bailado nadie te lo quita. Pon sobre la mesa lo bueno y lo malo de estos años y usa tu formación de científico para extraer lo más valioso de ellos:

1. Has tenido la suerte de haberte esforzado sistemática y persistentemente en un proyecto que requería hacer uso de tus mejores cualidades y que debió haberte llevado al límite de tu capacidad, de la confianza en ti misma y de tu autocontrol y, haya sido como haya salido, llegaste al final de una etapa. Eso no lo ha vivido cualquiera .

2. Habrás viajado. Habrás descubierto aficiones e intereses. También conociste gente interesante y peculiar entre tus maestros, colegas de otros centros y países, y con ellos has creado una red personal de contactos profesionales que serán importantes para tu futuro. También conociste personas de cultura y costumbres muy distintas a la tuya, conviviste con estudiantes de otras disciplinas y muy probablemente tienes la fortuna de haber hecho amistades que durarán toda tu vida.
3. Por otra parte, tienes una preparación que muy pocas personas en el mundo tienen o llegarán a tener: sobre el tema de tu investigación, sobre tu disciplina y sobre los fundamentos metodológicos y científicos que te ocuparon estos años. Gracias a ello deberás tener un rigor intelectual, una perspectiva científica y una actitud crítica que te permitirán formarte tu propia opinión sobre lo que suceda y te suceda y también te darán las bases para elegir cómo actuar y qué consejos dar.

En segundo lugar, la terminación del doctorado es una ocasión singular para analizar cómo has cambiado. Tal vez sería bueno poner con signos de interrogación las preguntas que siguen:

1. Qué experiencias han sido las más difíciles de enfrentar en estos años y cuáles las más satisfactorias. Qué aprendiste de cada una de ellas.
2. Cómo ha cambiado tu visión del mundo. Cuáles son realmente tus valores y en qué son distintos a los que tenías cuando empezaste el doctorado.
3. Cómo has cambiado profesionalmente: cuáles son tus buenos hábitos –y los malos, qué te motiva y qué has aprendido a hacer para contender con la presión, los contratiempos y las dificultades.
4. Cómo has cambiado como persona: cuáles son tus preferencias y tus inclinaciones, qué te gusta hacer, que te divierte, qué te cuesta trabajo y qué te entusiasma. Cómo han evolucionado tus afectos. La relación con tu pareja, tu familia, tus amigos de antes, tu país.

5. ¿Cómo ha cambiado tu papel en el mundo? Qué puedes hacer ahora que antes no podías, qué debes hacer que ahora te toca, qué te toca cambiar del mundo para que sea mejor.

Finalmente, terminar el doctorado puede ser un rito de paso para ti. Ya acabaste con el doctorado y ahora tienes ocasión de plantearte serena y seriamente, desde una nueva perspectiva, qué es lo que quieres de tu vida. Qué privilegios has obtenido, qué responsabilidades has adquirido y cómo las vas a asumir.

Fase 1: Tareas ineludibles (preparate para el viaje)

Ya acabaste, ahora, antes de que te distraigan otras responsabilidades, lo primero que deberías hacer es respirar hondo, recoger el tiradero y terminar lo que tienes a medias.

O sea:

1. Date ánimos:

- Tómate unas vacaciones. Te las mereces, y te conviene desconectar, descansar, dejar a la mente vagar y al cuerpo reponerse. Un doctorado no es un proyecto que salga gratis y conviene reponer fuerzas y despejar la mente. Para ello nada mejor que una semana sin leer nada, ni tu mail; irse de fiesta y dormir a pierna suelta; vulnerar los horarios y los hábitos que tan arduamente te impusiste en estos años. Sí, sé responsablemente irresponsable unos días.
- Date un premio, o más de uno. Festeja que cumpliste un hito. Cómprate una pluma fuente, el cuaderno de notas empastado en cuero o el tablet que te hace tanta ilusión. Pégate un banquete con tus amigos, pásate unos días con tu familia disfrutando su compañía. Haya salido todo como soñabas o no, acabaste, te costó muchísimo esfuerzo y te mereces que te lo reconozcas.

2. Recoge el tiradero. Pon en orden tus cosas:

- Agradece a quienes te hayan ayudado. Ya lo dijo el Quijote, o alguien, que es muy feo ser desagradecido. El doctorado no es un proyecto individual, por más que tú seas el principal implicado: tu familia, tus amigos, tu director de tesis deben haber jugado un papel muy importante en todo este tiempo. También te toca pensar en todas esas personas que te ayudaron: ese profesor que te dijo que te fijaras en algo que tú no veías; tu compañero de despacho que se recetó tus explicaciones y tus quejas; el visitante que te dijo que le gustaba lo que estabas haciendo; los cuates que se fueron de fiesta contigo o que te sacaban a jugar tenis o a echar una copa cuando tú tenías que trabajar o andabas depre; el del puesto de revistas o el de las pizzas que visitabas cada sábado. Ciertamente en estos años has recibido mucho de muchos; no seas gacho y dales las gracias a todos y a cada uno.
- Recopila recuerdos personales. Hasta ahora has vivido en un ecosistema en el que estás perfectamente adaptado, pero ya te toca cambiar. Antes de hacer las maletas recoge los objetos que te permitan revivir ese ambiente: fotos, cartas, cuadernos de notas, que tus profesores u otros autores que conozcas te firmen una copia de sus libros... ya verás qué gusto te da encontrártelos dentro de cinco o diez años, y cómo te ayudan a poner en perspectiva tu vida profesional y personal. Una copia de sus libros o tómate una foto con ellos, consigue libros autografiados o entrevistas con maestros y colegas.
- Pon en orden la oficina. Sí, es en serio, revisa que tienes todos los originales de los papeles importantes del doctorado y de tu estancia, sácales copia y guárdala en un sitio seguro y distinto al que uses para los originales. Revisa que tengas todos tus cuadernos de notas de doctorado y prepáralos para que los tengas a la mano en la siguiente fase de tu vida profesional. Compila e imprime una copia de todas tus publicaciones y crea un archivo que actualices siempre. Organiza también todas tus presentaciones.
- Limpia, reorganiza y renombra los principales directorios de tu máquina y saca un *backup* completo. De todos los libros, artículos y papeles los que ya no te sirvan regálalos, véndelos o tíralos; y los que sí sirvan (porque

tienen notas tuyas que sean realmente muy interesantes o porque tienen un valor intelectual o sentimental para ti) archívalos bien para que los encuentres cuando los busques más adelante. Ordena tu directorio de contactos, foros, editores, proveedores (además de los amigos, obvio).

- Ordena y documenta el software que usaste estos años y el que se haya desarrollado alrededor de tu tesis. Lo mismo con materiales de laboratorio, resultados experimentales y material gráfico.
- Deja listo tanto como puedas los trámites de registro de patentes, de software y de derechos relativos a tu trabajo, y el calendario de seguimiento.
- Actualiza el CV.

Toma beneficios. Ya saliste de estas tareas necesarias e inmediatas, ahora ponte a cosechar los frutos maduros de tu esfuerzo.

Fase 2: Preparar los siguientes pasos

Ahora sí, ya saliste de lo urgente, levanta la cabeza y piensa estratégicamente. Te ahorro el rollo porque ya estás grande. Considera tres acciones a tomar: Poner la tesis en perspectiva; identificar futuros posibles (actividades, sitios, estilos) y hacer tres planes: a corto (un año), mediano (3-5) y largo plazo (más de cinco).

1. **Escribe el “paper” que resume las aportaciones centrales de la tesis** (si no lo habías escrito ya durante el doctorado). Esto es oportuno porque ahora tienes todas las ideas frescas y, además, ya tienes una visión de conjunto que no tenías antes de defender la tesis. Ahora te va a costar poquísimo trabajo sacar el borrador de ese paper y tendrás una versión lista sin complicaciones en pocas semanas. Toma en cuenta que casi nadie leerá ni citará tu tesis y que si tus ideas vayan a circular dependerá de quienes las difundan, ¿qué mejor que seas tú? Por eso, hazlo pronto y que sea en la revista adecuada para tu tema, la que llegue a la comunidad profesional que mejor pueda beneficiarse de tus ideas. Lo más natural es que a tu director de tesis le vaya a interesar

mucho que se publique ese artículo y deberá ayudarte a que el artículo refleje el fondo de tus aportaciones y que lo haga de una manera lúcida y convincente; por ello y porque sus ideas también estarán en ese artículo, él estará motivado a que sea una pequeña obra maestra y tenga buen impacto. Dale chamba y ponlo pues como coautor.

2. Escribe al menos el *abstract* y el *outline* de los tres o cuatro *papers* que se derivan directamente de lo que ya hiciste y que no hubo tiempo de trabajar. Si puedes, ponte ahora mismo a escribir una versión 0 de cada paper. En este momento no te debería costar más de una semana sacar esa versión, y luego para darle el segundo empujón te puede convenir buscar coautores y darles tu borrador para que le sigan.
3. Aprovecha este ejercicio para actualizar tu carpeta de ideas pendientes, o empieza una de las que todavía no tenías. Pon en blanco y negro, y de manera sucinta esas conjeturas, postulados, iluminaciones que tuviste en estos años, que no has tenido tiempo ni de discutir con nadie, y que tal vez den para que hagas algo interesante o para convencer a alguien más de que lo haga o que lo haga contigo. Es algo fácil y que puede resultarte muy provechoso: apúntate unas cuantas y dedica a lo más media hora a cada idea; luego podrás ir las elaborando y añadiendo otras. Esta carpeta es una que te conviene mantener actualizada a partir de ahora y volver a esos apuntes de tanto en tanto para recordar ideas o para inspirarte.
4. Analiza qué beneficios sociales pueden derivarse de tu trabajo de doctorado. ¿Qué ideas pueden generar trabajo, bienestar, convivencia? ¿Cómo pueden tus ideas incorporarse en políticas públicas o de empresas? ¿A qué personas les puede convenir hablar contigo para que tú les tires una neta?
5. Analiza en qué contextos profesionales o de aplicación pueden tener cabida tus ideas del doctorado ¿Quiénes se podrían beneficiar de tus consejos?
6. Analiza cómo puedes sacar provecho económico de lo que has hecho en el doctorado. ¿Hay ideas que se puedan convertir en un producto o incorporarse en un servicio? ¿Hay alguna idea que pueda constituir una ventaja competitiva

para quien la quiera aprovechar?

7. Elige tu opción profesional para tu futuro.
 - a. Reconoce tus preferencias. Examina tus posibilidades
 - b. Haz planes de un año, de tres años y de más de cinco. Haz cada uno con su nivel adecuado de elaboración y sus puntos de salida (planes “B”).
 - c. Mantente activo para recibir ofertas.

Fase 3: Vida nueva

Aquí seré más amplio en cobertura temática pero seré telegráfico en las heurísticas, primero porque hay muchas decisiones a tomar en cuenta pero casi todo lo que digo es vil sentido común. Pero antes te tengo una mala noticia: no te hagas ilusiones, el doctorado no te da garantías de nada.

En cierta manera, el doctorado es sólo un trámite, un primer paso, un obstáculo que superaste. Lo que sigue sí es complicado porque tienes que volar solo. Es tu vida y tú tienes que decidir qué quieres hacer con ella y cómo vas a hacer que tu experiencia de doctorado te permita tener una vida mejor y más satisfactoria.

El doctorado te puede abrir puertas, pero tú tienes que escoger cuáles quieres abrir y luego que no te echen. El doctorado no apantalla a nadie que valga la pena apantallar. El doctorado te va a estorbar para hacer cosas que te gustaría hacer y en las empresas y en el gobierno pueden desconfiar de alguien con un doctorado. Por buenas razones: porque los que hemos hecho un doctorado solemos ser poco prácticos y nuestros criterios de calidad a veces no son compatibles con los que la gente tiene; y por malas razones, porque se sienten amenazados o acomplejados. Tus expectativas pueden ser poco razonables y causarte problemas importantes ya sea por menospreciar la dificultad de trabajar fuera de tu espacio de confort, o trivializar la dificultad de asumir que no siempre tienes la razón y que nadie tiene por qué hacerte caso si no los convences con buenos argumentos.

Por eso, pon los pies en la tierra, analiza con cuidado tus fortalezas y tus limitaciones y aclárate qué es para ti una vida plena y satisfactoria. Te propongo que examines las opciones profesionales típicas y te doy a continuación algunos elementos que te pueden servir para sopesarlas: sus ventajas, sus riesgos y la neta del planeta.

Opción 1. Seguir en academia

O sea, acabas el doctorado y te incorporas a una institución (generalmente académica) para seguir haciendo investigación o docencia. Yo veo dos opciones. Una opción a considerar seriamente es hacer un postdoctorado, la otra es entrar directamente a trabajar como académico. Separo mis opiniones en dos.

Alternativa 1: Hacer un postdoctorado. Es decir, conseguir dedicarte a estudiar cosas que te interesan e incorporarte al gremio de los académicos profesionales en un ambiente distinto al que tuviste mientras hacías el doctorado. Normalmente consiste en un contrato temporal de uno a tres años, idealmente con opción convertirse en un contrato de largo plazo en la misma institución o que te abra opciones ventajosas para un contrato de largo plazo en algún otro sitio. Normalmente las responsabilidades que tendrías son las mismas que tienen los demás investigadores o profesores de esa institución pero todo mundo sabe que tú estás empezando y te tratarán en consecuencia: exigiéndote más en tu creatividad y flexibilidad; y tolerando más tu inmadurez, tus inseguridades y tu entusiasmo.

¿Por qué conviene hacer un postdoc?

El principal valor de esta experiencia es conseguir un espacio cómodo para recoger los frutos maduros de tu trabajo doctoral y hacerlo en ambiente estimulante para aprender a ser un académico profesional. Creo que fue Miró el quien dijo que aprendió a ser pintor conviviendo en los cafés de Paris con Picasso y Braque y una bola de artistas. El postdoc debe ser un trampolín a los próximos años de tu carrera profesional (abrirte opciones de un contrato más permanente, de nuevos temas de investigación y desarrollo, de actividades que complementen tus ingresos académicos o para cambiarte a una carrera fuera de la academia).

Algunas ventajas que tiene hacer un postdoc son:

- Tendrás un entorno que te facilitará escribir los artículos que salen directamente de tu doctorado.
- Desarrollarás nuevas habilidades y adquirirás experiencia.
- Fortalecerás tu red de contactos y colaboradores.
- Un buen postdoc borra un doctorado mediocre, al igual que un buen doctorado borra una licenciatura mediocre (o dan brillo y resplandor).

Esas razones te ayudan a fijar y alcanzar tus metas para este período. Te sugiero metas como las siguientes:

- a. Dedicar tiempo, y a tiempo, para seleccionar y conseguir el mejor lugar para hacer un buen postdoc (personas, ambiente, tiempo, recursos, lugar geográfico y compatibilidad con tus propias características).
- b. Empieza a definir tu postdoc desde el último año del doctorado:
 - i. Trata de que esté confirmado para cuando se te acabe la beca o los recursos que tengas para seguir en donde hayas acabado el doctorado (o que tendrás con qué vivir hasta que te hagan el nuevo contrato).
 - ii. Pon las antenas para identificar ofertas (mails, convocatorias de proyectos, contactos en congresos). Busca apoyo en tu director de tesis y otros mentores.
 - iii. Aprovecha los compromisos que tomaste al hacer el doctorado (quienes te pagaron la beca y los proyectos en los que participaste)
- c. Prioriza temas y tiempos con perspectiva de mediano y largo plazo.
- d. Ponte metas precisas (tu paper básico, tus papers de inercia, tus papers con los nuevos colegas; tus desarrollos de inercia; tu participación en los proyectos de tu nuevo centro; la realización de una actividad productiva para cuando se acabe el postdoc).
- e. Demuestra que ya puedes volar solo (consigue dinero, apoyos y proyectos; trata de llevar la batuta en algunos aspectos de tu trabajo con los nuevos colegas; trata de dirigir tareas o partes de proyectos en curso; participa en la organización de seminarios y congresos; da conferencias; publica material de difusión; da clases; búscate alumnos que dirigir de licenciatura, maestría y doctorado (deberán ser colaboradores ideales para desarrollar algunas ideas tuyas y para

aprender a dirigir investigación y desarrollo).

- f. Consigue dinero. A través de distintos medios (proyectos, viajes, equipo, becas para estudiantes, contratos con empresas, asesorías, publicaciones).
- g. Organízate para ser productivo (rutinas semanales y mensuales; seguimiento riguroso de tus planes; documenta avances y resultados; lleva en orden todo el papeleo, asegúrate de tener comprobantes de todo lo que hagas; mantén tu carpeta de temas pendientes e ideas a medio cocinar; mantén actualizados tus directorios, acervos y documentación).
- h. Haz que la experiencia del postdoc sea provechosa:
 - i. Sé crítico de lo que estás haciendo en el postdoc (pero ojo, muy probablemente pases por una fase depresiva o de trauma del falso éxito). Analiza qué quieres hacer después y su factibilidad.
 - ii. Identifica y mantén abiertas algunas opciones para continuar tu carrera profesional.
 - iii. Gestiona con prudencia tu vida familiar y social; y tus estados de ánimo. El postdoc es un período de cierta volatilidad emocional.
- i. Diseña un portafolio de proyectos que te interesarían y con quiénes llevarlos a cabo.
- j. Asume responsabilidades morales, administrativas y políticas. En particular debes aprender a dirigir trabajos de investigación, y a coordinar el trabajo de otros. Debes involucrarte en dirigir tesis de licenciatura y maestría. Organiza tutoriales y talleres, colabora en escritura de proyectos, en solicitudes de financiamiento y en iniciativas de transferencia de tecnología.
- k. Fortalece tu red de contactos, apoyándote en los contactos del grupo que te recibe.

Opción 2. Entrar a la industria

Obtener un empleo en la industria tiene ventajas, pero también riesgos.

Una de las ventajas es que pagan bien generalmente, al menos comparado con los sueldos en universidades (sobre todo las públicas). También puede ser que te interese ver aplicaciones más concretas y de beneficios más tangibles directamente que lo que haces investigando en la universidad.

Sin embargo, el trabajo en la industria tiene a veces sus inconvenientes. Uno es que muchos empleos en la industria son rutinarios y más bien administrativos, y por lo mismo menos estimulantes intelectualmente.

En la industria también hay el riesgo de los recortes de personal, que si bien no son ausentes en las universidades, éstas son generalmente entornos más estables y seguros. El capitalismo es inclemente con las cuestiones de personal y salarios, y su norma es hacer lo que les conviene en términos de beneficios económicos; probablemente tu no quieres ser un “daño colateral” en un ajuste de personal.

Entonces, ¿es buena o no esta ruta? La neta es que todo depende de lo que quieres en la vida, de lo que estás dispuesto a arriesgar y de dónde puedes desarrollar más tu potencial.

Tienes que hacer una reflexión, una especie de inventario, de tus aptitudes, de tus valores, de tus preferencias e inclinaciones. También debes considerar con qué tipo de personas te gusta colaborar, cuáles piensas que son tus perspectivas de crecimiento en cada tipo de trabajo, y qué impacto tiene cada una en tu vida personal y profesional.

Por ejemplo, ¿te gusta el trabajo bajo presión, como muchas veces se presenta en la industria? ¿qué impacto puede tener en tu vida familiar el que tengas que ser localizable en todo momento?

Aún en el trabajo en la industria, el doctorado te ha dado un posicionamiento que pocas otras personas poseen:

- Tienes las fortalezas por ser doctor (solidez y amplitud de conocimientos, pensamiento analítico, capacidad de comunicación, experiencia de trabajo en equipo)

- Has pasado por varias experiencias al hacer el doctorado (internacional, grupos diversos, presentar, escribir, participar en proyectos, conseguir dinero, vender,...)
- Eres un especialista (el mayor del mundo en un tópico, entre los más avanzados en un tema y en primera división en un área)
- Tienes una perspectiva de un área en la que se tiene una visión de mediano y largo plazo (sobre muchos temas afines a la tesis se sabe lo que ya está por llegar y qué podría venir después)
- Cuentas con una red propia de contactos y recursos propios de diversa índole

Si logras que tu trabajo en la industria no sea rutinario, seguramente vas a descubrir nuevas aptitudes tuyas, vas a desarrollar nuevas habilidades, y vas a aplicar la objetividad y la actitud científica en un entorno al que muchas veces le hace falta.

En efecto, aún las empresas líderes en el mundo de la tecnología tienen deficiencias en la cultura de pensamiento crítico y riguroso, como se puede ver en el caso de un ingeniero de Google que pensó que su computadora se había vuelto consciente de sí misma.

Opción 3. Tomarse un tiempo y luego ver

Hay quienes al terminar el doctorado no tienen claro qué quieren hacer y se toman un tiempo para poner en claro lo que quieren. Esta puede ser una opción interesante si tienes forma de sobrevivir económicamente esta fase pero puede ser una opción peligrosa porque la indecisión puede ser pertinaz.

Si el plazo se alarga puede ser necesario ir tomando “chambitas” para ir sobreviviendo y esto puede distraer, desgastar y desmotivar; o peor aún, se van creando compromisos que contravienen la libertad que supuestamente se obtiene al postergar la decisión de una carrera profesional más estructurada. Te decimos “la neta”: hay que tener mucho cuidado con lo provisional, pues poco a poco se vuelve definitivo.

¿Cómo hacer buena esta estrategia? En mi opinión, ponerse un plazo, definir una meta y tener listo al menos un plan B.

Opción 4. Entrar en la administración pública

Esta puede ser una opción muy interesante. Es una forma de retornar a la sociedad los beneficios que uno recibe por tener una educación de primer nivel, y también puede ser una manera de completar la formación humana y profesional. El sector público es muy diverso y hay multitud de maneras en las que uno puede trabajar: como asesor, como tecnócrata, en el diseño de políticas, en la dirección tecnológica, como técnico especializado, como “achichinle” de un “picudo”. Todas tienen pros y contras.

Trabajar en el sector público tiene sus riesgos, tanto en lo que te puede pasar (cuando venga un cambio de directivos por las últimas elecciones) como por aquello en lo que te puedes convertir: puedes asimilar las perversiones que frecuentemente se mezclan con la política, que no en pocas ocasiones es palaciega, llena de intrigas y alejada de los intereses de la población a la que supuestamente sirves. Aprendes a quedarte callado cuando te conviene o hasta a mentir si es el caso, colaboras con personas que pueden ser valiosas y también despreciables, cuestionas tus ideales y principios éticos. Sin embargo, los “baños de realidad” pueden ser muy formativos.

En mi opinión, el servicio público puede entenderse como una responsabilidad para propiciar que haya “saltos” tecnológicos e institucionales de forma que se alcanzan estados de desarrollo más rápidamente gracias a que el recién doctorado tiene una visión más precisa de lo que está pasando en su área y puede llevar a la práctica innovaciones disruptivas si logra insertarse en un entorno humano e institucional adecuado.

Opción 5. Volverse empresario

Fundar una empresa es otra opción, que se basa justamente en esa visión anticipatoria que da el esfuerzo del doctorado y el ambiente de excelencia internacional en el que hay que moverse. Se saben cosas, se sabe “oler” oportunidades, se tienen conocimientos, se han creado artefactos. Todo esto puede llevar a la creación de productos o de servicios, ya que el trabajo de doctorado puede haber descubierto oportunidades y medios que no son conocidos por el público, y la experiencia y los conocimientos del doctorado pueden aportar un valor añadido y diferenciación competitiva a una empresa.

Podemos ver cómo los creadores de Google empezaron su camino con hallazgos hechos al estudiar el doctorado. Pero el camino del emprendedor está lleno de escollos, y uno de los más grandes es adquirir nuevas competencias que no se aprenden en el doctorado, como por ejemplo cómo validar que un producto tiene un mercado de gran tamaño y con interés potencial de comprarlo, o bien cómo contratar empleados y crear una “cultura” de innovación en la empresa, o bien cómo “mercadear” el producto, cómo hacer crecer sus ventas... la lista se extiende bastante.

La verdad es que, como es el caso de las otras opciones, depende de tus intereses, aptitudes y de las áreas en que te quieres desarrollar. Cada cabeza es un mundo...

Opción 6. Reinserción en academia

Es como la opción 1 pero indirecta. Lugo de pulular en el gobierno, la empresa o la vagancia, uno puede decidir volver a la academia. No es fácil pero es factible y puede ser muy satisfactorio.

La ventaja sobre entrar directamente a la academia es que durante tu periplo te haz hecho de un acervo de experiencias que te amplían el horizonte, y esto de alguna manera lo puedes aprovechar al transmitirlo a los alumnos, al detectar oportunidades, y finalmente al estar convencido del trabajo en la academia después de haber probado otros.

Ahora bien, no todo es miel sobre hojuelas, pues mientras conoces el mundo externo, otros colegas han avanzado en los indicadores y clasificaciones de los profesores e investigadores, y tú llegas y te encuentras con cierto retraso comparado con ellos.

Una reflexión final.

La vida no es un doctorado.

Al final, lo importante es descubrir qué es lo que a uno lo motiva y diseñarse una actividad que nos permita dedicarnos a ello sin sobresaltos. Pasar horas en lo que a uno le gusta, convivir con gente interesante, viajar y enfrentar desafíos intelectuales y de otros tipos. Siempre habrá tedio, siempre habrá dificultades, decepciones y fracasos. Pero el doctorado te habrá dado herramientas para lidiar con ello.

La ruta a un doctorado exitoso en computación
se terminó el 26 de julio de 2023.
Está disponible en formato PDF en la página web de la Academia Mexicana de Computación:
<http://www.amexcomp.mx>