

KNOWLEDGE IS POWER:
PARTNERSHIPS FOR INNOVATION

EL CONOCIMIENTO ES PODER:
ALIANZAS PARA LA INNOVACIÓN

John J. Tracy



STVDIVM
GENERALE
CAESARAV-
GVSTANAE
CIVITATIS



Prensas de la Universidad
Universidad Zaragoza

**KNOWLEDGE IS POWER:
PARTNERSHIPS FOR INNOVATION**

**EL CONOCIMIENTO ES PODER:
ALIANZAS PARA LA INNOVACIÓN**

KNOWLEDGE IS POWER:
PARTNERSHIPS FOR INNOVATION

EL CONOCIMIENTO ES PODER:
ALIANZAS PARA LA INNOVACIÓN

John J. Tracy

PRENSAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

© John J. Tracy

© De la presente edición, Prensas de la Universidad de Zaragoza (Vicerrectorado de Cultura y Proyección Social)

1.ª edición, 2019

Prensas de la Universidad de Zaragoza

Edificio de Ciencias Geológicas

c/ Pedro Cerbuna, 12 • 50009 Zaragoza, España

Tel.: 976 761 330. Fax: 976 761 063

puz@unizar.es <http://puz.unizar.es>

Dedicated to my grandparents,
José and Ángeles Alegría,
who taught me to be proud
of my Spanish heritage

*A mis abuelos,
José y Ángeles Alegría,
que me enseñaron
a sentirme orgulloso
de mi herencia española*

**KNOWLEDGE IS POWER:
PARTNERSHIPS FOR INNOVATION**

I INTRODUCTION

Rector of the University of Zaragoza, Mr. President of the Aragon Government, academic authorities and representatives of the Community, ladies and gentlemen. Thank you Rector for the very kind introduction.

I also want to thank the Government of Aragon for its effort to make my presence possible in Spain and, specifically, in this great University.

It must be said that anything I accomplished worth noting was done in conjunction with many talented teammates who I'm sure deserve more of the credit than I do.



FIGURE 1. *Ángeles and José Alegría*

Nevertheless, I'm extremely happy to be here with you today for several reasons.

First, I've always been very proud of my Spanish heritage. My grandmother, María Ángeles Martínez de Alegría y Celaya, was born and raised near here in Ondárroa (Vizcaya, Spain). My grandfather, José Augustín Martínez de Alegría y Solagaistoa, was born and raised in Ullíbarri-Gamboa (Álava, Spain). I'm looking forward to visiting their birth places on this trip. I'm sure both of them would be very proud to know that I had been invited here today.

The second reason I'm so happy to be here is because my former company, Boeing, has had a wonderful history here in Spain. About twenty years ago, we opened Boeing's very first international research center here in Spain. The Madrid based Boeing Research and Technology Europe (BR&T-E) has been the hub through which all of our European research is conducted and managed. The Spanish team led our research in the areas of air traffic management, biofuels and alternate propulsion.

Finally, I'm happy to be able to visit your university. I've known of University of Zaragoza for decades. My expertise was in composite materials and the first international conference I ever presented at was in Madrid. Zaragoza's Professor Antonio Miravete and several of his students also attended the conference. One of those young students is now a senior professor here. Professor Juan José Alba has remained a friend for three decades.

QUICK HISTORY OF AEROSPACE

I suspect that Professor Juan José Alba and Professor Jesús Arauzo invited me here today because they felt you would have some level of interest in aerospace. I hope they were right. Aerospace is a very interesting subject. From the time of my grandparents youth in 1903 with the Wright Brother's first flight until today, we have gone from being bound to the surface of the earth to being able to live in space and are now on the verge of establishing colonies on other planets. Today, aerospace is responsible for close to 10% of the world's domestic gross product. It either directly or indirectly impacts almost every aspect of modern life. Aerospace remains on the leading edge of discovery and exploration. But whether interested in the subject or not, I think there are things we can learn from aerospace's major achievements.

In the span of one person's lifetime we went from the Wright Brothers' first flight of 120 feet, to jets in the 1930's, breaking the speed of sound in the 1940's, commercial jet transportation in the 50's, and both the 747 and a manned voyage to the moon in the 60's. And that progress has continued, with the space shuttle, the international space station, and the 787

Dreamliner just to name a few, and it's not slowing down. What are a few things we can learn from these achievements.

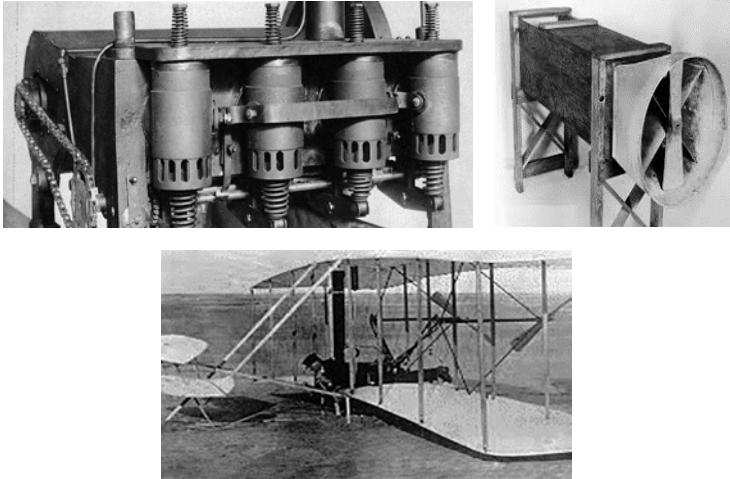


FIGURE 2. *Integration of technologies enabled the Wright brothers*

Powered flight started with the Wright Brothers. The key lesson they taught us was to scan the horizon for new technologies that make your goals achievable and if they don't exist, invent them yourself. Aluminum alloys had just come into existence in a meaningful way a few years earlier. The Wrights realized aluminum weight savings were critical to their success and incorporated it into an engine block. The scientific study of aerodynamics really didn't exist. They created a wind tunnel and aerodynamic test methods many of which are still the basis of what we do today. They used what they could from others and then invented what else they needed.



FIGURE 3. *The first 20 years of the jet age*

Let's jump to the birth of the jet age. The figure shows three very famous airplanes, the 707, the Concorde and the 747. The 707 in the 1950's was the plane that brought commercial jet travel to the world. Two advances that you still see on virtually every plane today are the engines mounted in front and underneath the wing in nacelles, and the swept wing. The engine mounting significantly reduces the weight of the wing and improves the safety by keeping the hot engine away from the wing fuel tank. The swept wing allows you to fly much faster with reduced drag. These two features are still with us today and the basic 707 configuration is still being used seven decades later. The first lesson here is that sometimes it's hard to improve on a great idea and using something proven that still provides performance is the way to go. The second lesson is never be too proud to adopt a good idea from someplace else. The swept wing approach was discovered in a German laboratory after World War II

and was almost immediately incorporated by Boeing weeks later.

The next plane in the figure is the Boeing 747 “Jumbo Jet”. This four-engine, double deck plane was the first wide-bodied airplane and it held the passenger capacity record.

For almost 40 years. The 747 made international air travel affordable and convenient. The Wright Brothers’ first flight could have taken place inside the 747 fuselage. The current version can take off with a weight of over 1 million pounds. The interesting thing about this airplane is that each one of them has 6 million parts. Creating a system to design and reliably manufacture something of that extent was a huge achievement. The lesson here is that predicting the future is difficult. The plane was the losing contender in an Air Force freighter competition. It was turned into a passenger plane as an afterthought and was not supposed to be produced for more than a few years. The world and Boeing both expected it to be quickly obsoleted by supersonic airplanes. Fifty years later that still hasn’t happened. They have sold over 1500 of these with a list price of \$300M each. The lesson here is to not give up on a project after an initial disappointment. This losing freighter proposal completely changed international travel.

The Concorde was the creation of the European aerospace industry. It is definitely one of the most beautiful planes ever built. Its first flight was in 1976 and it was finally retired in 2003. Only 20 were built. Although it could travel at twice the speed of sound (1300 MPH), it could only carry 100 or so passengers, 400 less than the 747. A typical ticket would cost \$10,000 to travel from New York to London. As you approach the speed of sound, drag rises significantly. So going fast uses a tremendous amount of fuel. Fuel is one of the largest

costs of an airline. The other issue was environmental impact. The Concorde couldn't fly supersonically over land due to the noise foot print it created with its sonic boom. Consequently, airlines couldn't sustainably make money flying the Concorde. The lesson here is clearly that a beautiful design and superior performance aren't sufficient for survival when faced with requirements of running a profitable business.



FIGURE 4. *B-787 Dreamliner*

The most recent significant advance in commercial aviation was the development of the 787 Dreamliner. It started out as a concept called the Sonic Cruiser to fly near the speed of sound but the airlines didn't want to buy it. They asked us to develop a super-efficient airplane instead. The 787 was that airplane. I've worked on variants of everything I've shown you today minus the Wright Flyer and the Concorde. But the 787 is the plane I feel closest to. I worked on it from from the beginning. The 787 was 20% more fuel efficient than that plane it replaced and 75% more fuel efficient than the first commercial transports. This was enabled by improved aerodynamics represented by the beautiful curved wing, improved engines, more electric systems, and advanced materials. The 787 was the first commercial transport to have a graphite epoxy wing

and fuselage. The use of these materials was a radical departure from all previous designs and was critical to driving the plane's fantastic performance. By the way, the Spanish company MTorres was critical to the use of composites on this plane. This was the fastest selling plane in Boeing's history and can be seen all over the world today. The lesson here is that even if you have a great product designed (in this case a very fast airplane) that your customers reject, you can work jointly with them and create something better than you ever imagined.



FIGURE 5. *The Space Shuttle*

The final aerospace accomplishment I want to talk about is manned space. The two lessons here are that manned space is both expensive and dangerous. For someone to go into orbit around the earth, they must travel at a speed of 17,000 miles per hour. It takes an incredible amount of energy to accelerate someone from a stand still to that speed. It's basically a controlled explosion. But explosions by their very nature are very hard to control. You have to convert all the chemical energy stored in the fuel into kinetic energy. The Space Shuttle was an amazing machine. It weighed 4.4 million pounds yet could accelerate to 17,000 miles per hour to reach orbit. It was the first vehicle to attempt to make space flight commonplace. Over the course of its 30 years it made 135 flights. But as I said, this is dangerous business and two of those flights ended in disaster. In its 25th flight, the Challenger (STS-51-L) was lost on ascent and the 113th flight (STS-107, Columbia) was lost on descent. It's just very hard to control all that energy. And in attempting to do so reliably, the costs per launch grew dramatically to an estimated \$450M dollars per flight. Although there are many lessons from this program, the top lesson has to do with something called "normalization of deviance" (NOD). NOD is really what caused both flight failures. There were little signs all along that things weren't right but because many flights worked out fine in spite of the warning signals (cold launch temperatures, foam coming off the external tank during launch), people began to become numb to the data and miss the warning signs that we were barely averting disaster multiple times. Deviations from what we expected were considered "normal" and were ignored. The results of ignoring these warnings resulted in the loss of several lives.

FUTURE TRENDS IN AEROSPACE

Aerospace has been an industry with quite an interesting past but what can you expect in the future.



FIGURE 6. *Efficiency and environment*

In commercial aviation, be prepared to see major changes in environmental impact, fuel efficiency, autonomy, and speed. Although commercial air travel only is responsible for 2% of the world's manmade CO₂, the industry takes reducing this impact as a primary

goal, probably second only to safety. The industry has demonstrated great ability to reduce environmental impact. Over the last several decades the fuel efficiency has improved by 75% and this is directly proportional to a reduction in the amount of CO₂ produced. We will continue to see this driven down with unique airplane configurations such as the blended wing body (BWB) design shown in Figure 6. The BWB has less drag and is more structurally efficient than a conventional tube and wing design and this leads to about a 30% reduction in fuel use and CO₂ produced.

Even though the size of the commercial fleet is more than doubling over the next 20 years, the industry has accepted as a goal to reduce by half the amount of green house gasses produced from aviation. A key enabler of that goal will be the use of biofuels. Unlike petroleum based fuels, biofuels absorb CO₂ from the atmosphere while they are being produced as shown in the figure. This results in a net CO₂ reduction of up to 80% compared to petroleum based fuels. Numerous airlines are already using biofuel mixtures in regular service.

The final images in the figure represents electric propulsion. You won't be flying in the airplane on the bottom of the figure, but it represents the trend towards electrification. The industry is investigating ways to use clean electricity to power flights rather than burning jet fuel. The Boeing Madrid team was the first in the world to fly an all electric hydrogen fuel cell powered airplane over 10 years ago. Dr. Nieves Lapena-Rey (shown on the right) led the team that designed, built and flew the all electric, PEM fuel cell powered airplane not far from here. While we don't expect all electric propulsion to power large commercial aircraft anytime soon, we do expect to see hybrid propulsion similar to what you see in automobiles.

These hybrids can offer as much as a 60% efficiency improvement. But we will need dramatic improvements in energy storage density for batteries by a factor of 15 before we see large transports powered solely by electricity.



FIGURE 7. *Speed*

The next place you will see change is in speed. I previously showed the Concorde and discussed why commercially it didn't succeed. We do know how to design the next generation of supersonic transport. At the top of the figure is a picture of a Mach 2.4, 300 passenger airplane called the High Speed Civil Transport. It was designed in the 90's but was never built. One of the biggest roadblocks for this and any other high speed transport is

the overpressure called a sonic boom that is created when you fly over the speed of sound. Laws in most countries will not allow you to fly supersonically over land. But ongoing research is showing that through aircraft shaping, the sonic boom can be reduced to the point where flying over land supersonically is feasible. The picture on the far left is of the Aerion Mach 1.4, 12 passenger business jet that will fly in 2023. The far right shows Boom Supersonic Mach 2.2, 55 passenger transport. These airplanes are targeted to be significantly quieter than the Concorde. Beyond that, at the bottom of the figure you can see Boeing's Mach 5.5 hypersonic airplane concept.

At 3800 mph, it only will take 2 hours to travel from Sydney to San Francisco. The main challenge for all of these concepts is how to reduce the environmental footprint of the plane in a commercially affordable manner.



FIGURE 8. *Autonomy*

Military drones already have the capability to take-off, fly to a destination and land without human intervention. Many of the commercial airplanes you fly on today have the ability of landing completely on their own and taxiing to the end of the runway. But the flying public isn't yet comfortable getting on a plane that has no pilot. Increased autonomy will first show up with reduced crew sizes on long international flights. These flights typically have over two or more complete crews that alternate flying. By relying more on autonomy, the number of extra crew members will be reduced.

It's much more likely that your first exposure to fully autonomous flight will be in an autonomous package delivery as shown on the upper right. NASA estimated that 700,000 drones are expected to be in use by 2020. The delivery of the packages isn't that exciting to me but the development of an air traffic management system that allows these thousands of vehicles to sense and avoid each other in a decentralized way will be critical for the future of autonomous passenger flight.

The upper left shows Uber Air's taxi concept which they hope to have operational by 2023. The lower center shows an actual flight test of Boeing's all electric air taxi. You will tell it where you want to go and then the vehicle autonomously develops a flight plan, coordinates it with the air traffic management system, takes off and flies while continuously sensing and avoiding any other vehicles in the area, before safely landing you at your destination. It has a range of 50 miles and could be operational in the next 5 years.

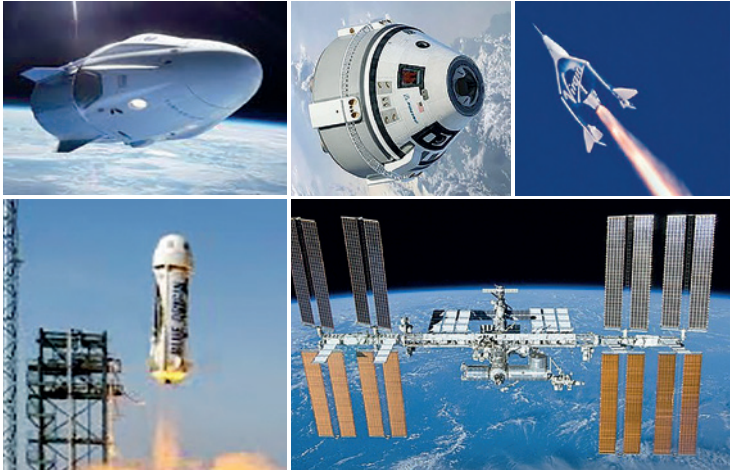


FIGURE 9. *Space tourism*

Up to now, if you wanted to go to space, you pretty much had to be a government sponsored astronaut. Spanish born astronauts Michael Lopez-Alegria and Pedro Duque are examples. But two months ago, NASA announced that anyone willing to spend \$35k dollars per day can “rent a room” on the International Space Station. The issue is how you get from the earth’s surface to low earth orbit 250 miles up. Commercial space flight is where we will see tremendous growth. Virgin Galactic and Blue Origin will sell you a ticket to the edge of space about 60 miles above the earth’s surface for about \$200k. You get to be weightless for a few minutes and then it’s right back to earth. To get to 60 miles altitude, you need to accelerate to a speed of 2500 miles per hour.

But to get to low earth orbit you need to accelerate to 17,000 miles per hour. That takes 50 times as much energy

so it is not cheap! Two companies, Boeing and SpaceX are creating vehicles to do just that. But I must say the \$35,000 per day will be cheap compared to the minimum \$20-40M launch cost. We should all start saving now! And if that's not exciting enough for you, during the lives of many here on campus, you will see bases established on the moon and travel to Mars. However, that's a discussion for another day.

HOW TO LEAD PROGRAMS OF THIS MAGNITUDE

Regardless of which programs we talked about, they all took monumental efforts to create. To make all this happen it takes a very large organization. In fact, it takes every type of college degree you can imagine. The obvious ones are engineering, physics, chemistry, materials science, etc. But it also requires business, law, medicine, biology, writers, translators, artists, and even a few poets. It takes a team with a diverse background to create innovation.

But organizing and leading a large team like that is a challenge in and of itself. Let me take a couple of minutes to discuss key success factors here. And the success factors to lead a large team can be very useful no matter what you are working on. I have some experience on this front. I led a team of over 100,000 people, 55,000 of which were engineers. Many people would assume that success in the type of projects I talked about so far depended totally on being able to solve big equations, run big computers, machine tools, etc. It's true those things are necessary for success, but they aren't sufficient. The key success factor is always the same, people.

Success in leading a group of people towards a goal, regardless of the size of the group, can be broken down

into four components: organizational structure, process architecture, leadership capability and the most important of all, culture. I won't take much time discussing the first two. Many business textbooks have been written on the various ways to organize a team for optimum performance. Similarly, process architecture is a critical but well studied area. It's how you assure that every task is done correctly. Both of these areas assure that decisions are made quickly and leverage historical successes and failures through a robust knowledge management program. In addition, these two elements assure that mistakes are identified early before the consequences of the error are too high. I'll be happy to share what we did in these two areas with anyone interested.

Leadership capability is about having a leader who is not afraid to hire people smarter than they are. Leadership capability is about having a leader who is willing to share the credit and take the blame. A great leader's top goal is not their own personal success but enabling the success of their team. A great leader makes sure that EVERY person on the team knows their role and feels honored and respected for their contributions and feels a sense of responsibility to the team.

The most important element for a successful large program is the culture of the organization. The most important job of a leader is to establish the right organizational culture. An organization is a living organism that has its own will and sense of purpose and direction. An effective leader makes sure that each member of the team understands and internalizes that direction. The right culture assures that the organization will succeed even in spite of errors made by the leaders. The right cultures assures that the motivations and goals of individual team members are all aligned to those of

the organization. So whether you are leading a team of 10 or 10,000, paying attention to organizational structure, process architecture, leadership capability and organizational culture will assure your success.

THE ROLE OF UNIVERSITIES

I admit that I was very, very fortunate to have the job I had. I worked on the space shuttle, space station, delta and titan rockets, several satellites like GPS, helicopters, all the 7 series commercial airplanes, military transport and fighter aircraft, and more. I personally got to fly or do test flights in many of them with the highlight being breaking the speed of sound at 600 feet off the ground in an F-18 with the Blue Angels. It's a job that any engineer would love and in fact, I did love it.

But I must tell you that wasn't what I dreamed to do. I always dreamed of being a professor and becoming part of a university community. You are part of a university community already so you may take for granted many aspects that make it so special and made me want to be part of your community.

A university is the only place I know of where it's ok, maybe even desirable, to NOT know all the answers. The students know little when they begin the curriculum they will be studying. In fact, their lack of knowledge is the real reason that the university exists. Well, what about the professors. The students believe the professors know everything. But a professor's job is to find something that they don't know, really that no one knows, and figure it

out. That's what we call research. Finding the area where nobody knows the answers and figuring out what the answers are is the goal of every research professor.

So everyone at a university has a common and unifying goal of gaining or creating knowledge. And the university is the perfect place to pursue this goal. A university has a diverse group of people from all different disciplines and backgrounds. It is this diversity that creates the fertile ground from which new ideas can grow. If a group of people who all thought the same way and had the same background were given a problem, they would quickly come up with an answer and tell each other how smart they were because they all thought of the same thing so quickly. But if you started with a very diverse group, it would definitely take more time. There would be a lot of debating, a lot of defining terms and clarifying assumptions, but in the end, you can be assured that many more potential solutions were considered and the answer would be fundamentally better. This principle of better solutions through diversity was a core component of Boeing's innovation ecosystem. Engineers need artists. Philosophers need physicists. Speaking with people who do have your background but that disagree with you is just as important. I think you get the idea. You are very fortunate to be in an environment where you have access to all of these smart people from so many disciplines that have the same thirst for knowledge that you do. Don't take for granted that this is a very special place.

COMPANIES AND UNIVERSITIES WORKING TOGETHER

What if we extend the discussion beyond the university community and include others. How can universities and large companies work together? At Boeing, we had a very purposeful approach towards working with universities that we had used for over 100 years.

Why do large companies collaborate with universities? There are several reasons.

First, we go to universities because they provide the people that give on-going life to our company: new engineers, scientists, finance people, communications people, etc. Knowledge transfer from the people that are retiring to those that are being hired may be one of the most important processes a company has. Second, a university community has the absolute top people in any discipline we are interested in. If there are very hard problems that need to be solved, if you want to know what new technologies can disrupt your business or enable new businesses, getting professors and post-docs involved is the quickest path to the solution. Third, at times you have the capability to do something, testing for example, within your company but you can get it done more efficiently at a university so that's where we go. Fourth, companies work with universities for philanthropic

reasons, providing general support to the community. The ideal situation is if all of these are integrated together. For instance, a company would fund undergraduate scholarships for students, provide students with summer internships inside the company, fund professors research whose work is aligned with the company's needs, and then offer jobs to the professor's graduate students when they complete their degrees.

And I do think the benefits are bilateral. The students and the university gain access to important physical and financial resources. They learn about real world problems that can be useful in guiding both their research and their normal studies. At Boeing, there were multiple cases where a major university would hire a new professor and then have them work at Boeing as a full time employee for a year before they started teaching. These types of interchanges created deep relationships that benefited both the company and the university for years.

There is a third partner that is key in the industry/university relationship. That partner is the regional and national government. Governments understand the critical role of universities in driving economic growth through education of the citizens and through creation of intellectual property. The focus to improve the lives of all the citizens is (or should be) their main goal. A company's main goal is to serve all their stakeholders (the shareholders, the employees, and the communities they live in). A company's responsibility to the shareholders drives the need for profitability. Consequently, research areas for a company are constrained to areas where there is a fairly high probability of success. This limits the amount of fundamental or high risk research that companies can work on. Governments understand this constraint so they fund universities to do the higher risk,

higher payoff research that in other circumstances would go undone. And governments can do so over the number of years required to work through all the issues in a new technology.

Let me give an example that comes from the Boeing 787 Dreamliner.

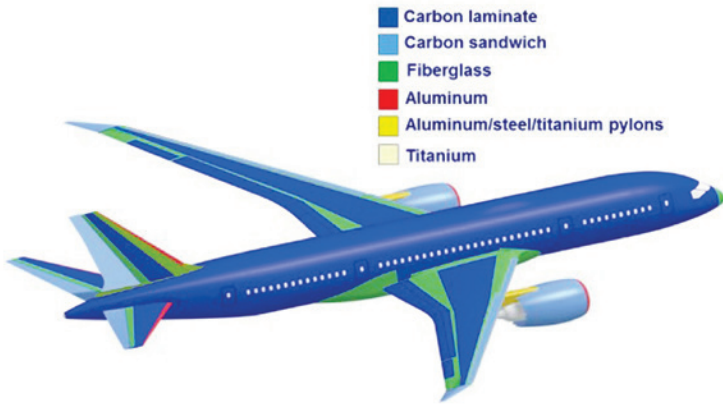


FIGURE 10. *Materials distribution in a 787 Dreamliner*

The 787 had its first flight in 2009. There were many things that made the 787 so special but the biggest advance by far was the use of composite materials, graphite epoxy in particular, for the wing and fuselage. Its use enabled a more comfortable passenger environment, it drove fuel efficiency, it improved safety and fatigue performance. And these were only some of the benefits. But the journey was several decades long. This is why most meaningful research requires long term partnerships between universities, industry and government. Universities help us discover new scientific phenomena. They identified what

benefits composites could provide through analysis and testing. They created the early tools through which you could design laminates and predict performance. And it was often governments that either provided funding to the universities or did some of the work in their own laboratories.

Once the benefits of composites were identified and key tools developed, industry worked with governments and universities to do risk reduction activities for aerospace applications. This further reduces the risks for the major investments that are required to implement a new technology. It should be noted that a new airplane development like the 787 costs over \$10B and it's all the company's money so the risks of using any new technology must be very well understood. So while the work starts out with the center of mass being with universities with some industry involvement, it ends with the center of gravity almost completely with industry with some university involvement. The point is that major advances require the long term partnership of universities, government, and industry.

It should be clear why companies want to work closely with universities. At times though, I've seen areas that have kept us from working as well together as we could. Two areas that I've witnessed disagreements or misunderstandings are publishing research and intellectual property. Let's take publishing. One of the main products of a research institution is publications by the faculty. The faculty is highly motivated to publish all their work as soon as they complete it. But if industry is funding the work at a university, the industrial partner may want to delay publication of their sponsored research for competitive reasons. I would say that the more closely aligned the research topic is

with a company's business, the more likely it is that they will want publication delayed so that the company's competitive position is established. The secret to success here is trying to be sensitive to each others needs and working out a compromise.

The area that keeps most academia / industry relationships from starting off well is intellectual property terms and conditions. In the past, universities have developed intellectual property, say a single patent, that has earned \$1B dollars for the university. Because of that, universities have rather stringent rules about intellectual property ownership and licensing since they fear they might be giving away a billion dollar idea. Similarly, companies don't want to fund research or do joint research at a university and see the results benefit one of their business competitors or have to pay huge licensing fees for work that they funded. The key here is to negotiate some basic licensing flat fee ahead of time and include it in every research contract so that the university gains licensing income on every project and a company knows they will have reasonable access to anything that is developed.

It is possible for universities and companies to work together on significant research actives. The secret to success is establishing long term umbrella agreements, regular coordination and interchange between all levels of both organizations, secunding faculty within a company and company staff at the university, funding research that addresses areas of great interest to the company, and of course hiring the students for internships and full time jobs.

WHAT SHOULD WE WORK ON GOING FORWARD



FIGURE 11. *The Grand Challenges*

What are some emerging areas that university communities with their industry partners can focus on. The US National Academy of Engineering developed the list shown in the figure. They are called the Grand Challenges. Fusion energy and worldwide access to clean water are no small tasks nor are the others listed. These are multidisciplinary problems that are clearly focused on

improving peoples' lives. Two hundred universities around the world have signed on to make the solutions to these challenges the centerpiece of their educational curricula and research. As before, these are multidisciplinary and require people from engineering, the sciences, the arts, humanities, law, and will dramatically improve the world.

If the list of grand challenges doesn't excite you, then create a new list that does excite you and your colleagues. The main thing is that your list, any list, should consist of significant challenges that when solved will improve people's lives. As an academic community, it seems to me that any list you come up with, let's call it the University of Zaragoza grand challenges, should take advantage of the broad range of capabilities and the very rich environment you have at the university. People can work on their own anywhere but the university enables collaboration possible in few other places.

So, given that you've picked some challenges to work, the next step is to assemble diverse teams to collaborate, that is where the innovation will come from. The teams must have courage to take risks, to explore approaches that may not work, and that may have been ignored or even rejected in the past. And since you are willing to take a higher risk (and hopefully high payoff) path, make sure to have multiple intermediate milestones and off-ramps to help measure your progress. Persistence and tenacity and working together will be key to achieving your goals.

8
COMPOSITE METAPHOR
ON WORKING TOGETHER

Let me end with a metaphor. I spoke earlier about the 787 Dreamliner. I want to show you a test we ran on its wing when we loaded it to over 1 million pounds. This is many times higher than the loads it would ever see in flight.



FIGURE 12. *B-787 Dreamliner wing deflection*

The wing deflected almost 26 feet without any damage. This is an incredibly strong wing. Remember I told you that the wing was made from graphite epoxy?

That's carbon filaments and epoxy resin, basically string and glue. Please take my word that these are really weak constituents. A single filament is very, very, small. Thousands of them fit into the size of a pencil lead. The filaments can carry basically zero compression and zero bending load. But let's say you took thousands and thousands of them and made a circular bar from just the fibers. A child could still easily bend it back and forth. Many of the individual filaments would break and soon you would have two ropes rather than one.

But when you add the very weak resin/glue it's like magic. All of those individual filaments now work together and share the load. Individual filaments can be broken all over the place but the resin / glue allows the load to be shared from a broken filament into an unbroken one. The rope / bar can now carry every type of load you can imagine. It's strength and stiffness on a per weight basis is greater than that of steel. All a result of these less than perfect elements working together.

As far as I'm concerned, the message is clear. Each of us in academia, industry, and government has our role to play. And while none of us have the full answer, each of us can be part of the solution and can work in a complementary and collaborative manner to solve the world's biggest challenges. As individual entities it's easy to point out our weaknesses. But working in a joint enterprise all that I see are the strengths.

The title of my talk started with the words "knowledge is power". That phrase came from Francis Bacon who lived in England about 400 years ago. He was the inventor of the scientific method which has had a huge impact on every significant discovery over the last few centuries. But he also coined the term "knowledge is power". Today when we think of that phrase we often interpret it to mean that

the person with the knowledge has the power to control others around them. But Bacon meant something quite different. He meant that the person with the knowledge has the ability and responsibility to use that knowledge to make the world better for all those around them.

As this academic year starts, I hope that each of you are able to reflect on how you and the university community can work together to use the knowledge you have in an impactful way that makes life better for those around you. Thank you so much for allowing me to be part of your academic community today. It was a true honor.

**EL CONOCIMIENTO ES PODER:
ALIANZAS PARA LA INNOVACIÓN**

I

INTRODUCCIÓN

Excelentísimo Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Zaragoza, Sr. Presidente del Gobierno de Aragón, autoridades académicas y otras autoridades aquí presentes, señoras y señores.

Quiero dar las gracias al Sr. Rector por su muy amable introducción y también quiero agradecer al Gobierno de Aragón su esfuerzo para hacer posible mi presencia en España y, en concreto, en esta gran Universidad.

Antes de comenzar, debo decir que cualquier cosa digna de reconocimiento que yo haya podido hacer, la hice en colaboración con muchos compañeros de equipo, de gran talento, que estoy seguro que merecen más reconocimiento que yo.



FIGURA 1. *Ángeles y José Alegría*

No obstante, estoy inmensamente feliz de estar hoy aquí con ustedes por varias razones.

En primer lugar, siempre he estado muy orgulloso de mi herencia española. Mi abuela María Ángeles Martínez de Alegría y Celaya nació y se crio cerca de aquí, en Ondárroa (Vizcaya, España). Mi abuelo José Agustín Martínez de Alegría y Solagaistoa nació y creció en Ullíbarri-Gamboa (Alava, España). Espero visitar sus lugares de nacimiento en este viaje. Estoy seguro de que ambos se sentirían muy orgullosos de saber que me habían invitado hoy.

La segunda razón por la que estoy tan feliz de estar aquí es porque mi anterior compañía, Boeing, posee una historia maravillosa en España. Hace unos veinte años, abrimos el primer centro de investigación internacional de Boeing aquí en España. Con sede en Madrid, Boeing Research and Technology-Europe (BR&T-E) ha sido el centro a través del cual se lleva a cabo y se gestiona toda nuestra investigación europea. El equipo español lideró nuestra investigación en las áreas de gestión del tráfico aéreo, biocombustibles y propulsión alternativa.

Finalmente, estoy feliz por poder visitar su universidad. Conozco la Universidad de Zaragoza desde hace décadas. Los materiales compuestos eran mi especialidad y la primera ponencia que presenté en una conferencia internacional fue precisamente en Madrid. El profesor Antonio Miravete, de la Universidad de Zaragoza, y varios de sus alumnos también asistieron a la conferencia. Uno de esos estudiantes es ahora un profesor senior aquí. El profesor Juan José Alba es un buen amigo desde hace tres décadas.

BREVE HISTORIA DE LA TÉCNICA AEROESPACIAL

Sospecho que cuando los profesores Juan José Alba y Jesús Arauzo propusieron a la Universidad de Zaragoza que me invitara a estar hoy aquí lo hicieron pensando que encontraría cierto nivel de interés en la tecnología aeroespacial. Espero que estuvieran en lo cierto. La tecnología aeroespacial es muy interesante. Desde la época de juventud de mis abuelos, en 1903, con el primer vuelo de los hermanos Wright hasta hoy, hemos pasado de estar pegados a la superficie de la Tierra a poder vivir en el espacio, y ahora estamos en los umbrales del establecimiento de colonias en otros planetas. Hoy, la tecnología aeroespacial genera casi el 10% del producto interior bruto mundial. También repercute directa o indirectamente en casi todos los aspectos de la vida moderna. El sector aeroespacial se mantiene como vanguardia del descubrimiento y la exploración. Pero, independientemente de que el tema os interese, o no, creo que hay cosas que podemos aprender de los principales logros de la tecnología aeroespacial.

En el lapso de vida de una persona, hemos pasado del primer vuelo de los hermanos Wright, de algo más de 36 metros, a los aviones de propulsión a chorro en los años treinta, a romper la barrera del sonido en los

cuarenta, al transporte aéreo comercial en los cincuenta, y tanto al Boeing 747 como al primer viaje tripulado a la Luna en los años sesenta. Y ese progreso continuó con el transbordador espacial, estación espacial internacional y 787 Dreamliner; por citar algunos, y esto no cesa. ¿Cuáles son algunas de las cosas que podemos aprender de estos logros?

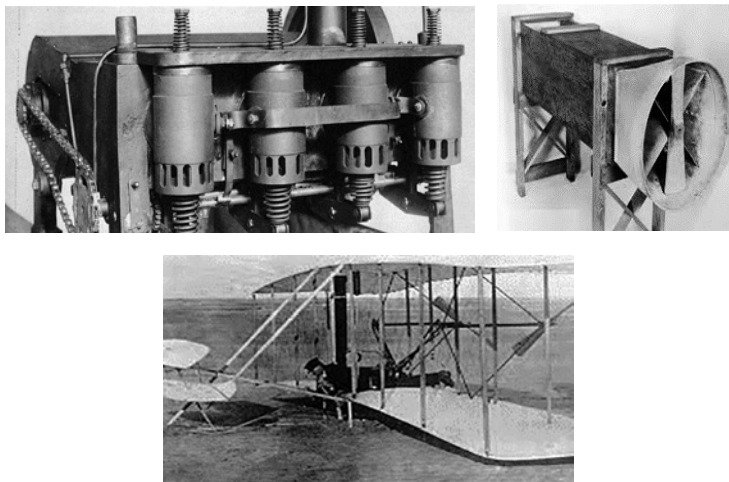


FIGURA 2. *La integración de tecnologías capacitó a los hermanos Wright*

Los vuelos a motor comenzaron con los hermanos Wright. La lección clave que nos enseñaron fue la de explorar el horizonte en busca de nuevas tecnologías que te permitan alcanzar tus objetivos y, si no existen, las inventas tú mismo. Las aleaciones de aluminio empezaron a tener presencia significativa unos pocos años atrás. Los hermanos Wright sabían que el ahorro de peso que podía proporcionar el aluminio podía ser crítico para su éxito, por lo que lo incorporaron en el bloque motor. La ciencia de

la aerodinámica realmente no existía. Crearon un túnel de viento y métodos de ensayo aerodinámico, muchos de los cuales siguen siendo la base de lo que hacemos en la actualidad. Usaron lo que pudieron de otros y luego inventaron cualquier otra cosa que necesitaron.



FIGURA 3. *Los primeros veinte años de la era de los reactores*

Saltemos al nacimiento de la era del avión de propulsión a chorro. La figura muestra tres aviones muy famosos, el 707, el Concorde y el 747. El 707, en la década de los cincuenta, fue el avión que trajo al mundo la propulsión a chorro comercial. Dos avances que aún veréis en prácticamente todos los aviones actuales son los motores montados en góndolas en la parte inferior delantera del ala, y el ala en flecha. El soporte del motor reduce significativamente el peso del ala y mejora la seguridad al mantener el calor del motor alejado del tanque de combustible del ala. El ala en flecha nos permite volar mucho más rápido con un arrastre reducido. Estas dos características todavía están en vigor y la configuración

básica del 707 aún se está utilizando siete décadas más tarde. La primera lección que aprendemos con esto es que, a veces, es difícil mejorar una gran idea, y que el camino correcto se encuentra en el uso de aquello que está demostrado que todavía funciona bien. La segunda lección es que nunca se debe ser orgulloso como para no querer adoptar una buena idea que llegue de otro lugar. El concepto del ala en flecha fue descubierto en un laboratorio alemán después de la Segunda Guerra Mundial y solo unas semanas más tarde fue adoptado por Boeing.

El siguiente avión en la figura 3 es el Boeing 747 «Jumbo Jet». Este avión de cuatro motores y doble cubierta fue el primer avión de fuselaje ancho y mantuvo el récord de capacidad de pasajeros durante casi cuarenta años. El 747 hizo que los viajes aéreos internacionales fueran confortables. El primer vuelo de los hermanos Wright podría haber tenido lugar dentro del fuselaje 747. La versión actual puede despegar con un peso de más de 1 millón de libras. Lo interesante de este avión es que cada unidad tiene 6 millones de componentes. Crear un sistema para diseñar y fabricar con fiabilidad algo de esa magnitud fue un gran logro. En este punto, la lección radica en que predecir el futuro es difícil. Este avión fue un diseño perdedor en un concurso para suministrar un avión de carga a la Fuerza Aérea. Pero, como recurso posterior, se convirtió en un avión de pasajeros que se suponía que solo se fabricaría durante unos pocos años ya que tanto Boeing como el resto del mundo esperaban que el diseño resultara obsoleto rápidamente como consecuencia del desarrollo de los aviones supersónicos. Cincuenta años después, eso aún no ha sucedido. Se han vendido más de 1500 de estos aviones con un precio de catálogo de 300 millones de dólares cada uno. Aquí, la lección consiste en saber no renunciar a un pro-

yecto después de una decepción inicial. Esta propuesta perdedora de avión de carga cambió completamente los viajes internacionales.

El Concorde fue la creación de la industria aeroespacial europea. Definitivamente, es uno de los aviones más bellos jamás construidos. Su primer vuelo se celebró en 1976 y fue finalmente retirado en 2003. Solo se construyeron 20. Aunque podía viajar al doble de la velocidad del sonido (2100 km/h), solo podía transportar alrededor de 100 pasajeros, 400 menos que el 747. Un billete normal costaba 10 000 dólares para viajar desde Nueva York a Londres. Según nos acercamos a la velocidad del sonido, el arrastre aumenta significativamente, por lo que volar deprisa se traduce en el consumo de ingentes cantidades de combustible. Este representa uno de los mayores costos para una aerolínea. El otro problema fue el impacto medioambiental. El Concorde no podía sobrevolar tierra a velocidad supersónica debido a la huella sonora que creaba con su estampido sónico. En consecuencia, las aerolíneas no podrían ganar dinero de manera sostenible haciendo volar al Concorde. Aquí, la lección es clara: un diseño hermoso y unas prestaciones superiores no son suficientes para la supervivencia cuando se han de abordar los requerimientos de administrar un negocio rentable.



FIGURA 4. *B-787 Dreamliner*

El más reciente y significativo avance en la aviación comercial fue el desarrollo del 787 Dreamliner. Comenzó como un concepto llamado *Sonic Cruiser* pensado para volar a velocidad cercana a la del sonido, pero las aerolíneas no querían comprarlo. Nos pidieron que, en lugar de eso, desarrolláramos un avión súper eficiente. El 787 era ese avión. Yo he trabajado en variantes de todo lo que os he mostrado hoy, a excepción del avión de los hermanos Wright y del Concorde. Pero el 787 es el avión del que me siento más cerca porque trabajé en él desde el principio. El 787 tiene un 20% más de eficiencia en el consumo de combustible que el avión al que reemplazó y un 75% más de eficiencia que los primeros aviones comerciales.

Esto fue posible gracias a una aerodinámica mejorada que se materializó en sus hermosas alas curvas, a las mejoras en los motores, a un mayor número de sistemas eléctricos y a los materiales avanzados. El 787 fue el primer avión comercial en tener unas alas y un fuselaje hechos de grafito epoxi. El uso de estos materiales representó una ruptura radical con todos los diseños anteriores y fue fundamental para impulsar el fantástico rendimiento del avión. Por cierto, la empresa española MTorres fue clave para el uso de materiales compuestos en este avión. Este fue el avión que más rápidamente se vendió en la historia de Boeing y, en la actualidad, se puede ver en todo el mundo. La lección aquí es que incluso si se tiene un gran diseño de producto (en este caso, un avión muy rápido) que sus clientes rechazan, se puede trabajar en colaboración con ellos para crear algo mejor de lo que uno nunca hubiera podido imaginar.



FIGURA 5. *El transbordador espacial*

El último logro aeroespacial del que quiero hablar es el de los viajes espaciales tripulados. Las dos lecciones aquí son que los viajes espaciales tripulados son costosos y también peligrosos. Para que alguien entre en órbita alrededor de la Tierra, debe viajar a una velocidad de 27 000 kilómetros por hora. Se necesita una cantidad increíble de energía para acelerar a alguien desde una posición de reposo hasta esa velocidad. Es básicamente una explosión controlada. Pero las explosiones, por su propia naturaleza, son muy difíciles de controlar. Tienes que convertir

toda la energía química almacenada en el combustible en energía cinética. El transbordador espacial fue una máquina increíble. Pesaba 2000 toneladas, pero podría acelerar a 27 000 kilómetros por hora para entrar en órbita. Fue el primer vehículo que intentó hacer de los vuelos espaciales algo común. A lo largo de sus treinta años realizó 135 vuelos. Pero, como dije, esto es un asunto peligroso y dos de esos vuelos terminaron en un desastre. En su vuelo número 25, el Challenger (STS-51-L) se perdió en el ascenso y el vuelo número 113 (STS-107, Columbia), se perdió en el descenso. Es muy duro controlar toda esa energía. Y al intentar hacerlo de manera fiable, los costos por lanzamiento aumentaron drásticamente hasta, aproximadamente, 450 millones de dólares por vuelo. Aunque se aprendieron muchas lecciones con este programa, la lección principal tiene que ver con algo llamado «normalización de la desviación» (NOD). NOD es realmente lo que originó el fracaso de ambos vuelos. Hubo pocas señales de que las cosas no iban bien, pero, debido a que muchos vuelos funcionaron bien a pesar de las señales de advertencia (temperaturas de lanzamiento frías, espuma que salía despedida del tanque externo durante el lanzamiento), la gente comenzó a hacerse insensible a los datos y pasó por alto las señales de advertencia de que varias veces estuvimos rozando el desastre. Las desviaciones respecto de lo que esperábamos se consideraron normales y fueron ignoradas. Y el resultado de ignorar estas advertencias fue la pérdida de varias vidas.

TENDENCIAS DE FUTURO EN LA CARRERA AEROESPACIAL

La tecnología aeroespacial ha tenido un pasado bastante interesante, pero ¿qué podemos esperar del futuro?



FIGURA 6. *Eficiencia y entorno*

En lo que se refiere a la aviación comercial, estamos preparados para ver cambios importantes en el impacto medioambiental, en la eficiencia del combustible, la autonomía y la velocidad. Si bien la aviación comercial es

responsable de solo un 2% del CO₂ generado por el hombre en el mundo, la industria considera objetivo prioritario —en importancia, probablemente solo después de la seguridad— la reducción de su impacto medioambiental. La industria ha demostrado una gran capacidad para reducir el impacto medioambiental. En las últimas décadas, la eficiencia del combustible ha mejorado en un 75%, lo que va proporcionalmente ligado a la reducción de la cantidad de CO₂ producido. Continuaremos viendo esta reducción gracias a configuraciones de avión muy singulares, tal como es el diseño de fuselaje en forma de ala curva («blended wing body», BWB) que se muestra en la figura 6. El BWB tiene menos arrastre y es más eficiente desde el punto de vista estructural que un diseño convencional formado por fuselaje tubular y ala, y esto lleva a un ahorro aproximado de alrededor del 30% en consumo de combustible y CO₂ producido.

A pesar de que el tamaño de la flota comercial será más del doble de la actual en los próximos veinte años, la industria ha aceptado como un objetivo reducir a la mitad la cantidad de gases de efecto invernadero producidos por la aviación. Un elemento clave en la consecución de ese objetivo será el uso de biocombustibles. A diferencia de los combustibles derivados del petróleo, los biocombustibles absorben el CO₂ de la atmósfera mientras estos son producidos, tal como se muestra en la figura. Esto da como resultado una reducción neta de CO₂ de hasta un 80% en comparación con los combustibles derivados del petróleo. Numerosas aerolíneas ya están utilizando mezclas de biocombustibles en su servicio regular.

Las fotografías finales de la figura 6 representan la propulsión eléctrica. No volaremos en el avión de la parte inferior, pero representa la tendencia hacia la electrificación.

La industria está investigando formas de propulsar vuelos mediante el uso de energía eléctrica limpia en lugar de quemar combustible. El equipo de Boeing Madrid fue el primero en el mundo en hacer volar un avión de propulsión totalmente eléctrica basada en pila de combustible de hidrógeno hace más de diez años. La Dra. Nieves Lapeña-Rey (que se muestra a la derecha) dirigió el equipo que diseñó, construyó e hizo volar el avión 100% eléctrico de celda de combustible PEM, no muy lejos de aquí. Si bien no esperamos que, a corto plazo, los grandes aviones comerciales sean totalmente propulsados por energía eléctrica, sí esperamos utilizar una propulsión híbrida similar a la que se utiliza en los automóviles. Estos híbridos pueden ofrecer una mejora en la eficiencia de un 60%. Pero necesitaremos grandes mejoras en la densidad de almacenamiento de energía para las baterías, multiplicándola por un factor de 15 antes de que veamos grandes transportes que funcionen exclusivamente con electricidad.



FIGURA 7. *Velocidad*



FIGURA 8. *Autonomía*

El siguiente tipo de cambios que veremos estará en la velocidad. Antes, he mostrado el Concorde y he explicado por qué no tuvo éxito desde el punto de vista comercial. Sabemos cómo diseñar la próxima generación de transporte supersónico. En la parte superior izquierda de la figura 7 se muestra una imagen de un avión supersónico para 300 pasajeros —capaz de alcanzar Mach 2,4— llamado *Transporte Civil de Alta Velocidad*. Fue diseñado en los años noventa, pero nunca fue construido. Uno de los mayores obstáculos para este y cualquier otro transporte de alta velocidad es la sobrepresión, el estampido sónico, que se crea cuando se vuela por encima de la velocidad del sonido. Las leyes, en la mayoría de los países, no permiten sobrevolar tierra firme a velocidad supersónica, pero las investigaciones en curso muestran que, mediante el rediseño de formas de

los aviones, el estampido sónico puede reducirse hasta el punto de poder conseguir la legalidad de estos vuelos sobre tierra firme. La imagen superior derecha corresponde al avión supersónico comercial para 12 pasajeros Aerion —capaz de alcanzar Mach 1,4—, que volará en 2023. La parte inferior izquierda muestra el Boom Supersonic para 55 pasajeros, capaz de volar a Mach 2,2. Estos aviones están diseñados para ser significativamente más silenciosos que el Concorde. Más allá de eso, en la parte inferior derecha de la figura 7 puede verse el concepto de avión hipersónico, con capacidad de volar a Mach 5,5, de Boeing. A 6000 km/h solo costará 2 horas viajar de Sídney a San Francisco. El principal desafío para todos estos conceptos es cómo reducir la huella medioambiental del avión de una forma comercialmente asequible.



FIGURA 9. *Turismo espacial*

Los drones militares ya tienen la capacidad de despegar, volar a un destino y aterrizar sin intervención humana. Muchos de los aviones comerciales en los que volamos hoy tienen la capacidad de aterrizar completamente por sí solos, así como de rodar hasta el final de la pista. Pero el público que viaja en avión todavía no se sentiría cómodo subiendo a un avión sin piloto. El aumento de la automatización irá parejo a la reducción de las tripulaciones en vuelos internacionales largos. Estos vuelos suelen tener dos o más tripulaciones completas que alternan los vuelos. Al confiar más en la automatización, se reducirá el número de miembros extra de la tripulación.

Es mucho más probable que nuestra primera experiencia con un vuelo totalmente automático se produzca durante la entrega de un paquete, como se muestra en la parte superior derecha. La NASA estimó que pueden ser 700 000 los drones en uso en 2020. La entrega de paquetes no es tan emocionante para mí, pero el desarrollo de un sistema de gestión de tráfico aéreo que permita que estos miles de vehículos se detecten y se eviten entre sí de forma descentralizada será crítico para el futuro de los vuelos automatizados de pasajeros.

La imagen superior izquierda muestra el concepto de taxi aéreo de Uber que esperan que esté operativo en 2023. La imagen inferior muestra una prueba de vuelo real del taxi aéreo eléctrico de Boeing. Le diremos a dónde queremos ir y el vehículo desarrollará de forma automática un plan de vuelo, lo coordinará con el sistema de gestión de tráfico aéreo, despegará y volará a la vez que detectará y evitará cualquier otro vehículo en la zona, todo ello antes de aterrizar con seguridad en su destino. Tiene una autonomía de 80 kilómetros y podría estar operativo en los próximos cinco años.

Hasta ahora, si queríamos ir al espacio, teníamos que ser astronautas pagados por el Gobierno. Los astronautas nacidos en España Miguel López-Alegría y Pedro Duque son dos ejemplos. Pero, hace dos meses, la NASA anunció que cualquiera que esté dispuesto a pagar 35 000 dólares diarios, puede alquilar una «habitación» en la estación espacial internacional. El problema es cómo llegar desde la superficie de la Tierra a la órbita terrestre baja a 400 kilómetros de altitud. Es en los vuelos espaciales comerciales donde veremos un tremendo crecimiento. Virgin Galactic y Blue Origin nos venderán un pasaje para volar a la frontera con el espacio, a unos 100 kilómetros sobre la superficie de la Tierra por, aproximadamente, 200 000 dólares. Seremos ingrátidos durante unos minutos y luego volveremos a la Tierra. Para llegar a 100 kilómetros de altitud, necesitamos alcanzar una velocidad de 4000 km/h.

Pero para llegar a la órbita terrestre baja necesitamos acelerar a 27 000 km/h. Eso requiere cincuenta veces más energía, por lo que ¡no es barato! Dos compañías, Boeing y SpaceX, están creando vehículos para hacer precisamente eso. Pero debo decir que los 35 000 dólares diarios serán baratos en comparación con el coste mínimo de lanzamiento (20-40 millones de dólares). ¡Todos deberíamos empezar a ahorrar ahora! Y si eso no es lo suficientemente emocionante para vosotros, durante las vidas de muchos aquí en el campus, podréis ver bases establecidas en la Luna y viajes a Marte. Pero eso es un tema para otro día.

¿CÓMO LIDERAR PROGRAMAS DE ESTA MAGNITUD?

Independientemente de los programas de los que hayamos hablado, todos ellos requirieron esfuerzos monumentales para ser creados. Para que todo esto suceda se necesita una muy amplia organización. De hecho, se necesitan todos los tipos de títulos universitarios que podáis imaginar. Los más obvios son la ingeniería, la física, la química, la ciencia de materiales, etc. Pero también se requiere personal con formación en negocios, derecho, medicina o biología, así como escritores, traductores, artistas e incluso algunos poetas. Se requiere un equipo con una formación diversa para crear innovación.

Pero organizar y liderar un gran equipo de esas características es un desafío en sí mismo. Permittedme dedicar un par de minutos a discutir los factores clave del éxito en este punto, dado que los factores de éxito para liderar un gran equipo pueden ser muy útiles, trabajos en lo que trabajas. Tengo alguna experiencia en este frente. Dirigí un equipo de más de 100 000 personas, 55 000 de las cuales eran ingenieros. Mucha gente supondría que el éxito en el tipo de proyectos de los que he hablado hasta ahora depende totalmente de poder resolver grandes ecuaciones, trabajar con potentes ordenadores y máquinas herramientas, etc. Es cierto que esas cosas son necesarias para

el éxito, pero no son suficientes. El factor clave del éxito es siempre el mismo: las personas.

El éxito en dirigir a un grupo de personas hacia una meta, independientemente del tamaño del grupo, se puede dividir en cuatro componentes: estructura organizativa, arquitectura de procesos, capacidad de liderazgo y, la más importante de todas, cultura. No dedicaré mucho tiempo a hablar sobre las dos primeras. Se han escrito muchos libros de texto de escuelas de negocios sobre las diversas formas de organizar un equipo para obtener un rendimiento óptimo. Del mismo modo, la arquitectura de procesos es un área crítica pero bien estudiada. Así es como se asegura que cada tarea se realice correctamente. Ambas áreas aseguran que las decisiones se tomen rápidamente y aprovechen los éxitos y fracasos históricos a través de un sólido programa de gestión del conocimiento. Además, estos dos elementos aseguran que los errores se identifiquen antes de que sus consecuencias sean demasiado graves. Estaré encantado de compartir lo que hicimos en estas dos áreas con cualquier persona interesada.

La capacidad de liderazgo consiste en tener un líder que no tenga miedo de contratar a personas más inteligentes que él. La capacidad de liderazgo consiste en tener un líder que esté dispuesto a compartir el éxito y asumir las culpas. El objetivo principal de un gran líder no es su propio éxito personal, sino permitir el éxito de su equipo. Un gran líder se asegura de que TODAS las personas en el equipo conozcan su rol, se sientan honradas y respetadas por sus aportaciones y tengan sentido de la responsabilidad hacia el equipo.

El elemento más importante para el éxito en un gran programa es la cultura de la organización. El trabajo más importante de un líder es establecer la correcta cultura

organizacional. Una organización es un organismo vivo que tiene su propia voluntad, sentido del propósito y rumbo. Un líder eficaz se asegura de que cada miembro del equipo entienda e internalice ese rumbo. Una cultura correcta asegura que la organización tenga éxito, incluso a pesar de los errores cometidos por los líderes. Las culturas correctas aseguran que las motivaciones y los objetivos de cada miembro del equipo estén alineados con los de la organización. Entonces, se lidere un equipo de 10 personas o se lidere un equipo de 10 000, prestar atención a la estructura organizativa, a la arquitectura del proceso, a la capacidad de liderazgo y a la cultura organizacional, asegurará su éxito.

EL PAPEL DE LAS UNIVERSIDADES

Admito que fui muy, muy afortunado teniendo el trabajo que tuve. Trabajé en el transbordador espacial, la estación espacial, los cohetes Delta y Titán, varios tipos de satélites, como el GPS, helicópteros, todos los aviones comerciales de la serie 7, transporte militar y de combate, y más. Personalmente, pude volar —o hacer vuelos de prueba— en muchos de ellos con el punto culminante de romper la barrera del sonido a menos de 200 metros del suelo en un F-18 con los *Blue Angels*. Es un trabajo que le gustaría a cualquier ingeniero y que, de hecho, me encantó.

Pero debo decirles que eso no era lo que yo soñaba hacer. Yo siempre soñé con ser profesor y formar parte de una comunidad universitaria. Vosotros sois parte de una comunidad universitaria, por lo que podéis dar por sentados muchos aspectos que la hacen tan especial y que me hicieron desear ser parte de su comunidad.

Una universidad es el único lugar que conozco donde es correcto —incluso deseable— NO saber todas las respuestas. Los estudiantes saben poco cuando comienzan el plan de estudios que van a cursar. De hecho, su falta de conocimiento es la verdadera razón por la que existe la universidad. Bueno, ¿y qué pasa con los profesores? Los

alumnos creen que los profesores lo saben todo. Pero el trabajo de un profesor es encontrar algo que no entienda, realmente que nadie entienda, y descifrarlo. Eso es lo que llamamos investigación. El objetivo de cada profesor investigador es encontrar el área donde nadie sabe las respuestas y averiguarlas.

Por lo tanto, todos en una universidad tienen el objetivo común y unificador de generar conocimiento. Y la universidad es el lugar perfecto para perseguir este objetivo. Una universidad tiene grupos diversos de personas, con distintos antecedentes, que provienen de diferentes disciplinas. Es esta diversidad la que crea el terreno fértil a partir del cual pueden crecer nuevas ideas. Si a un grupo de personas, todas ellas pensando de la misma forma y con el mismo conocimiento previo, se le presentara un problema, rápidamente a todas se les ocurriría una respuesta y se dirían entre sí lo inteligentes que eran porque todas pensaron lo mismo muy rápidamente. Pero si esto se hiciera con un grupo muy diverso, es bien seguro que llevaría más tiempo. Habría mucho debate, mucha definición de términos e hipótesis aclaratorias pero, al final, pueden estar seguros de que se considerarían muchas más potenciales soluciones y que, por tanto, la respuesta sería fundamentalmente mejor. Este principio de mejores soluciones a través de la diversidad fue un componente central del ecosistema de innovación de Boeing. Los ingenieros necesitan artistas. Los filósofos necesitan físicos. Hablar con personas que tienen tu misma experiencia pero que no están de acuerdo contigo es igual de importante. Creo que entendéis la idea. Sois muy afortunados de pertenecer a un entorno en el que uno tiene acceso a tantas personas inteligentes de tantas disciplinas con la misma sed de conocimiento que tú. No des por sentado que este sea un lugar muy especial.

EMPRESAS Y UNIVERSIDADES TRABAJANDO JUNTAS

¿Qué tal si extendemos la discusión más allá de la comunidad universitaria e incluimos a otros? ¿Cómo pueden trabajar juntas las universidades y las grandes empresas? En Boeing, tuvimos un enfoque muy útil para trabajar con las universidades que hemos utilizado durante más de cien años.

¿Por qué las grandes empresas colaboran con las universidades? Hay varias razones.

Primero, vamos a las universidades porque proporcionan las personas que dan vida a nuestra empresa: nuevos ingenieros, científicos, financieros, personal de comunicaciones, etc. La transferencia de conocimiento desde las personas que se están retirando hacia las personas que están siendo contratadas puede ser uno de los más importantes procesos dentro de una empresa. En segundo lugar, una comunidad universitaria tiene a las mejores personas en cualquier disciplina en la que estamos interesados. Si hay problemas complejos que deben ser resueltos, si desea saber qué nuevas tecnologías pueden ser disruptivas en su negocio o habilitar nuevos negocios, contar con profesores y personal posdoctoral es el camino más rápido hacia la solución. En tercer lugar, a veces se tiene la capacidad de hacer algo, por ejemplo,

realizar ensayos dentro de la empresa, pero puede hacerse de manera más eficiente en una universidad, así que ahí es donde vamos. Cuarto, las empresas trabajan con universidades por razones filantrópicas, brindándoles apoyo general. La situación ideal sería que todo esto se integrara. Por ejemplo, financiando becas de pregrado para estudiantes, facilitando estancias de verano dentro de la empresa, financiando investigaciones de profesores cuyo trabajo esté alineado con las necesidades de la compañía y luego ofreciendo empleo a los alumnos de grado de estos profesores cuando completen sus estudios.

Y creo que los beneficios son bilaterales. Los estudiantes y la universidad obtienen acceso a importantes recursos físicos y financieros. Aprenden sobre problemas del mundo real que pueden ser útiles para guiar tanto su investigación como sus estudios convencionales. En Boeing hubo varios casos en los que una universidad importante contrataba a un nuevo profesor y luego le hacía trabajar en Boeing como empleado a tiempo completo durante un año antes de que comenzara a enseñar. Estos tipos de intercambios crearon relaciones estrechas que beneficiaron tanto a la empresa como a la universidad durante años.

Hay un tercer socio que es clave en la relación industria-universidad. Ese socio es el Gobierno regional y nacional. Los Gobiernos entienden el papel fundamental de las universidades para impulsar el crecimiento económico a través de la educación de los ciudadanos y la creación de propiedad intelectual. Su objetivo de mejorar la vida de todos los ciudadanos es (o debería ser) su objetivo principal. El objetivo principal de una empresa es servir a todos sus grupos de interés (accionistas, empleados y comunidades en las que viven). La responsabilidad de

una empresa con los accionistas impulsa la necesidad de rentabilidad. En consecuencia, las áreas de investigación para una empresa están limitadas a áreas donde existe una probabilidad de éxito bastante alta. Esto limita la cantidad de investigación fundamental o de alto riesgo en la que pueden trabajar las empresas. Los Gobiernos entienden esta restricción, por lo que financian a las universidades para que realicen investigaciones de mayor riesgo y mayor rentabilidad que, en otras circunstancias, se perderían. Y los Gobiernos pueden hacerlo durante los años necesarios para resolver todos los problemas en una nueva tecnología.

Permítanme darles un ejemplo que viene del Boeing 787 Dreamliner.

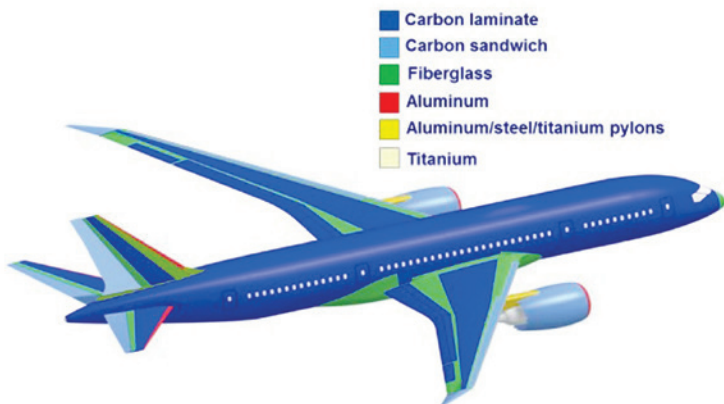


FIGURA 10. *Distribución de materiales en el 787 Dreamliner*

El 787 realizó su primer vuelo en 2009. Hubo muchas cosas que hicieron al 787 muy especial, pero el mayor avance fue, en gran medida, el uso de materiales compuestos, en particular grafito epoxi para las alas y el fu-

selaje. Su uso se tradujo en una atmósfera más cómoda para los pasajeros, impulsó la eficiencia energética, mejoró la seguridad y el comportamiento a la fatiga. Y estos fueron solo algunos de los beneficios. Pero la aventura duró varias décadas. Esta es la razón por la cual la investigación más significativa requiere asociaciones a largo plazo entre las universidades, la industria y el Gobierno. Las universidades nos ayudan a descubrir nuevos fenómenos científicos. Identificaron qué beneficios podrían proporcionar los materiales compuestos a través del análisis y los ensayos. Crearon las primeras herramientas mediante las cuales se podían diseñar laminados y predecir el rendimiento. Y, a menudo, los Gobiernos proporcionaban fondos a las universidades o hacían parte del trabajo en sus propios laboratorios.

Una vez que se identificaron los beneficios de los materiales compuestos y se desarrollaron herramientas clave, la industria trabajó con los Gobiernos y las universidades para realizar actividades de reducción de riesgos para aplicaciones aeroespaciales. Esto reduce aún más los riesgos para las principales inversiones que se requieren para implementar una nueva tecnología. Cabe señalar que un nuevo desarrollo de avión como el 787 cuesta más de 10 000 millones de dólares y, como todo el dinero es de la compañía, los riesgos de usar cualquier nueva tecnología deben entenderse muy bien. Entonces, mientras que el trabajo comienza con su centro de masas en las universidades y con alguna participación de la industria, termina con el centro de gravedad casi completamente en la industria con alguna participación de la universidad. La cuestión es que los grandes avances requieren la asociación a largo plazo de las universidades, el Gobierno y la industria.

Debería quedar claro por qué las empresas quieren trabajar estrechamente con las universidades. A veces, sin

embargo, he visto áreas que nos han impedido trabajar tan bien como hubiéramos podido hacerlo. Dos áreas en las que he presenciado desacuerdos o malentendidos son la publicación de investigaciones y la propiedad intelectual. Tomemos la publicación. Uno de los principales productos de una institución de investigación son las publicaciones de la facultad. La facultad está altamente motivada para publicar todo su trabajo tan pronto como lo completa. Pero si la industria financia el trabajo de una universidad, el socio industrial puede querer retrasar la publicación de su investigación patrocinada por razones competitivas. Yo diría que cuanto más estrechamente alineado esté el tema de investigación con el negocio de una compañía, más probablemente querrán que la publicación se retrase para que se establezca la posición competitiva de la compañía. El secreto del éxito aquí es tratar de ser sensibles a las necesidades de los demás y llegar a un compromiso.

El área que impide que la mayoría de las relaciones entre la academia y la industria empiecen bien son los términos y condiciones de propiedad intelectual. En el pasado, las universidades han desarrollado propiedad intelectual, digamos una sola patente, que haya supuesto 1000 millones de dólares para la universidad. Debido a eso, las universidades tienen reglas bastante estrictas sobre la propiedad intelectual y las licencias, ya que temen que puedan regalar una idea de 1000 millones de dólares. Del mismo modo, las empresas no quieren financiar una investigación o realizar una investigación conjunta en una universidad y ver cómo los resultados benefician a uno de sus competidores comerciales o tienen que pagar enormes tarifas de licencia por el trabajo que financian. La clave aquí es negociar con anticipación alguna tarifa plana de licencia básica e incluirla en cada contrato de investigación para

que la universidad obtenga ingresos de licencia en cada proyecto y una empresa sepa que tendrá acceso razonable a todo lo que se desarrolle.

Es posible que las universidades y las empresas trabajen juntas en importantes actividades de investigación. El secreto del éxito es establecer acuerdos paraguas a largo plazo, coordinación regular e intercambio entre todos los niveles de ambas organizaciones, apoyar a los profesores dentro de una empresa y al personal de la empresa en la universidad, financiar investigaciones que aborden áreas de gran interés para la empresa y, por supuesto, contratar los alumnos para prácticas y trabajos a tiempo completo.

¿EN QUÉ DEBERÍAMOS TRABAJAR PARA SEGUIR AVANZANDO?



FIGURA 11. *Los grandes desafíos*

¿Cuáles son algunas áreas emergentes en las que las comunidades universitarias, junto con sus socios industriales, pueden concentrarse? La Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos desarrolló la lista que se muestra en la figura. Se les llama los «Grandes Desa-

fíos». Se trata de problemas multidisciplinares que están claramente enfocados hacia la mejora de la vida de las personas. Doscientas universidades de todo el mundo se han comprometido para hacer de las soluciones a estos desafíos el elemento clave de sus currículos educativos. Son problemas multidisciplinares y requieren personas de la ingeniería, las ciencias, las artes, las humanidades, las leyes... que mejorarán drásticamente el mundo.

Y si la lista de los grandes desafíos no te entusiasma, crea una nueva lista que te emocione a ti y a tus colegas. Lo principal es que tu lista —cualquier lista— debe contener desafíos significativos que, una vez resueltos, mejoren la vida de las personas. Como comunidad académica, me parece que cualquier lista que surja —llamémosla «Los grandes desafíos de la Universidad de Zaragoza»— debería aprovechar su amplio rango de capacidades y el muy rico entorno que se tiene en la universidad. Las personas pueden trabajar por su cuenta en cualquier lugar, pero la universidad hace la colaboración posible en otros lugares.

Entonces, suponiendo que has elegido algunos desafíos para trabajar, el siguiente paso es reunir diversos equipos para colaborar. De ahí surgirá la innovación. Los equipos deben tener el coraje de asumir riesgos, de explorar enfoques que pueden no funcionar, o que pueden haber sido ignorados —o incluso rechazados— en el pasado. Y ya que estás dispuesto a tomar un camino de mayor riesgo (y, con suerte, alta rentabilidad), asegúrate de tener múltiples hitos intermedios y vías de escape para ayudar a tu progreso. La persistencia, la tenacidad y el trabajo conjunto serán claves para lograr tus objetivos.

LOS MATERIALES COMPUESTOS COMO PARÁBOLA DEL TRABAJO EN EQUIPO

Dejadme terminar con una metáfora. Antes hablé sobre el 787 Dreamliner. Quiero mostrarles ahora un ensayo que realizamos con su ala, cargándola con casi 500 toneladas. Esta carga multiplica con creces cualquier nivel de carga que pudiera aparecer en vuelo.



FIGURA 12. Flexión de ala en el B-787 Dreamliner

El ala flectó casi 8 metros sin ningún daño. Es un ala increíblemente fuerte. ¿Recordáis que os había dicho que el ala estaba hecha de grafito epoxi?

Básicamente, los filamentos de carbono se entretejen y la resina epoxi los pega. Por favor, creedme cuando os digo que estos son constituyentes muy débiles. Un solo filamento es muy, muy, pequeño. Miles de ellos son como el tamaño de una mina de lapicero. Los filamentos, por sí solos, prácticamente no pueden soportar ninguna carga de compresión ni de flexión. Pero digamos que tomamos miles y miles de estos filamentos y formamos con ellos una «cuerda». Un niño todavía podría flexionarla fácilmente de un lado a otro. Muchos de los filamentos individuales se romperían y pronto tendríamos dos cuerdas en lugar de una.

Pero cuando añadimos la muy débil resina/pegamento ocurre la magia. Todos los filamentos trabajan ahora juntos y comparten la carga. Los filamentos individuales pueden romperse y extenderse por el suelo, pero la resina/pegamento permite que la carga se traslade de un filamento roto a uno intacto. La cuerda/barra ahora puede soportar cualquier tipo de carga que podamos imaginar. Su resistencia y rigidez por unidad de peso son mayores que las del acero. Un gran resultado el conseguido por estos imperfectos elementos cuando trabajan juntos.

En lo que a mí respecta, el mensaje es claro. Cada uno de nosotros en la academia, la industria y el Gobierno tenemos nuestro papel que desempeñar. Y mientras ninguno de nosotros tenga la respuesta completa, cada uno de nosotros puede ser parte de la solución y puede trabajar de forma complementaria y colaborativa para resolver los más grandes desafíos a nivel mundial. Como entes individuales, es fácil señalar nuestras debilidades. Pero trabajando en empresas conjuntas, todo lo que veo son fortalezas.

El título de mi charla comenzó con la frase «el conocimiento es poder». La frase la dijo Francis Bacon, quien

vivió en Inglaterra hace unos cuatrocientos años. Fue el inventor del método científico que ha tenido un enorme impacto en cada descubrimiento significativo ocurrido en los últimos siglos. Pero también acuñó la frase «conocimiento es poder». Hoy, cuando pensamos en esa frase, a menudo la interpretamos en el sentido de que la persona con el conocimiento tiene el poder de controlar a los demás a su alrededor. Pero Bacon quería decir algo muy diferente. Él quiso decir que quien poseía el conocimiento tenía la responsabilidad de utilizarlo para hacer un mundo mejor para todos aquellos que le rodeaban.

En el comienzo de este año académico, espero que cada uno de ustedes pueda reflexionar sobre cómo —junto con la comunidad universitaria— pueden trabajar para usar el conocimiento que poseen de forma que se genere un impacto que haga que la vida sea mejor para quienes nos rodean.

Muchas gracias por permitirme en el día de hoy formar parte de su comunidad académica. Ha sido un verdadero honor.

ÍNDICE

KNOWLEDGE IS POWER: PARTNERSHIPS FOR INNOVATION

1. Introduction	11
2. Quick history of aerospace	13
3. Future trends in aerospace	21
4. How to lead programs of this magnitude	29
5. The role of Universities	33
6. Companies and universities working together	35
7. What should we work on going forward.....	41
8. Composite metaphor on working together.....	43

EL CONOCIMIENTO ES PODER: ALIANZAS PARA LA INNOVACIÓN

1. Introducción	49
2. Breve historia de la técnica aeroespacial	51
3. Tendencias de futuro en la carrera aeroespacial	59
4. ¿Cómo liderar programas de esta magnitud?	67
5. El papel de las universidades.....	71
6. Empresas y universidades trabajando juntas	73
7. ¿En qué deberíamos trabajar para seguir avanzando?	79
8. Los materiales compuestos como parábola del trabajo en equipo	81

COLECCIÓN PARANINFO
PRIMA LECTIO



STVDIVM
GENERALE
CAESARAV-
GVSTANAE
CIVITATIS



Universidad Zaragoza